

Владимирский государственный университет

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В АПК

Учебное пособие



Владимир 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В АПК

Учебное пособие

Электронное издание



Владимир 2025

ISBN 978-5-9984-2055-9

© Рагимов А. О., 2025

УДК 631
ББК 40.3

Автор-составитель А. О. Рагимов

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор
профессор кафедры земледелия и методики опытного дела
Российского государственного аграрного университета – МСХА
имени К. А. Тимирязева
О. А. Савоськина

Кандидат биологических наук, доцент
доцент кафедры биологии и экологии
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Н. В. Чугай

Применение удобрений в АПК [Электронный ресурс] : учеб. пособие / авт.-сост. А. О. Рагимов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – 227 с. – ISBN 978-5-9984-2055-9. – Электрон. дан. (2,99 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Приведены теоретические сведения о значении и роли элементов питания в жизни растений, охарактеризованы основные виды минеральных удобрений.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 06.03.02, 06.04.02 – Почвоведение и 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 2. Ил. 25. Библиогр.: 55 назв.

ISBN 978-5-9984-2055-9

© Рагимов А. О., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. АГРОХИМИЯ – НАУКА О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И УДОБРЕНИЯХ	7
Глава 2. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ИХ СВОЙСТВА	11
<i>Контрольные вопросы</i>	17
Глава 3. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ	17
3.1. Биогеохимический цикл азота	22
3.2. Содержание и форма соединений азота в почве и их превращение	25
3.3. Круговорот и баланс азота в земледелии	31
3.4. Классификация и особенности применения азотных удобрений	35
3.5. Нитратные удобрения	38
3.6. Аммонийные удобрения	39
3.7. Аммонийно-нитратные удобрения	41
3.8. Амидные удобрения	42
3.9. Аммиачные удобрения	44
3.10. Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения (КАС)	46
3.11. Способы повышения эффективности азотных удобрений <i>Контрольные вопросы</i>	49
Глава 4. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ	50
4.1. Фосфор и его роль в питании растений	50
4.2. Биогеохимический цикл фосфора	57
4.3. Источники фосфорного питания растений	60
4.4. Содержание и формы соединений фосфора в почвах	61
4.5. Способы получения, состав и свойства основных фосфорных удобрений	65
4.6. Водорастворимые фосфорные удобрения	67
4.7. Цитратно- и лимоннорастворимые фосфорные удобрения	
4.8. Труднорастворимые фосфорные удобрения	
4.9. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой	71
4.10. Приемы эффективного использования фосфорных удобрений	74
<i>Контрольные вопросы</i>	76

Глава 5. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ	77
5.1. Роль калия в жизни растений	77
5.2. Биогеохимический цикл калия	80
5.3. Содержание и формы соединений калия в почве	84
5.4. Круговорот калия в земледелии	87
5.5. Состав и свойства калийных удобрений	88
5.6. Взаимодействие калийных удобрений с почвой	90
5.7. Особенности использования калийных удобрений	92
<i>Контрольные вопросы</i>	94
 Глава 6. СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ	95
6.1. Сера и ее роль в жизни растений	95
6.2. Биогеохимический цикл серы	99
6.3. Применение серосодержащих удобрений	102
<i>Контрольные вопросы</i>	104
 Глава 7. МИКРОУДОБРЕНИЯ	104
7.1. Значение микроэлементов	104
7.2. Борные удобрения	108
7.3. Медные удобрения	111
7.4. Цинковые удобрения	113
7.5. Молибденовые удобрения	115
7.6. Кобальтсодержащие удобрения	117
7.7. Марганцевые удобрения	119
7.8. Способы применения микроудобрений	121
<i>Контрольные вопросы</i>	122
 Глава 8. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ	123
<i>Контрольные вопросы</i>	126
 Глава 9. ПРИЕМЫ, СРОКИ, СПОСОБЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	126
9.1. Агротехнические требования к внесению удобрений	126
9.2. Основное (допосевное) внесение удобрений	129
9.3. Припосевное (рядковое) внесение удобрений	133
9.4. Послепосевное внесение удобрений (подкормки)	134
9.5. Хранение, транспортировка и внесение минеральных удобрений	136
<i>Контрольные вопросы</i>	138

Глава 10. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ. ЗНАЧЕНИЕ, ВИДЫ И ОБЪЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ	
10.1. Подстилочный навоз.....	143
10.2. Бесподстилочный навоз	159
10.3. Птичий помет	171
10.4. Торф.....	176
10.5. Компосты.....	178
10.6. Зеленое удобрение.....	195
10.7. Солома	200
10.8. Технология и требования к качеству внесения органических удобрений	206
10.9. Бактериальные удобрения	213
<i>Контрольные вопросы</i>	214
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	 216
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	 217

,

ВВЕДЕНИЕ

Любым растениям периодически нужны подкормки. Опытные садоводы используют два вида средств: органические и минеральные, они имеют большое значение для роста и развития культур [1, 6].

Одну из главных ролей в системе агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур и повышение плодородия почв, играет применение органических и минеральных удобрений.

Органические и минеральные удобрения представляют собой сильное средство воздействия на почву (ее химические, физические и биологические свойства) и растения (их питание, рост и развитие, устойчивость к неблагоприятным условиям, урожай и его качество).

Агрохимия – это наука, изучающая взаимоотношения между растением, почвой и удобрениями в процессе минерального питания сельскохозяйственных культур. Это наука и биологическая, и сельскохозяйственная. Центральное место здесь занимают три проблемы: питание растений, плодородие почвы и применение удобрений [3].

Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур с целью получения высоких и стабильных урожаев хорошего качества – одна из основных задач, стоящих перед сельским хозяйством. Достижение этой цели невозможно без серьезных знаний о свойствах почвы, биологических особенностях культур, способах и формах применяемых удобрений и их взаимодействии между собой и с другими объектами окружающей среды [24].

Интенсификация земледелия усложняет процессы управления плодородием почв и продуктивностью агроценозов вследствие ряда причин. Важнейшей задачей агрохимии становятся глубокое познание процессов, протекающих в почвах при их использовании, анализ качеств почв, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур [19].

Глава 1. АГРОХИМИЯ – НАУКА О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И УДОБРЕНИЯХ

Агрономическая химия, или агрохимия, – наука о питании растений, круговороте элементов питания в земледелии, рациональном применении удобрений для увеличения урожайности, улучшения качества сельскохозяйственных культур и повышения плодородия почвы [27].

Взаимодействие растения, почвы и удобрений академик Д. Н. Прянишников (рис. 1.1.) схематично изобразил в виде треугольника, и писал: «Изучение взаимоотношений между растением, почвой и удобрениями всегда являлось главной задачей агрохимиков» почвы [3].



Рис. 1.1. Д. Н. Прянишников (1865–1948)

Дмитрий Николаевич Прянишников (1865–1948) - русский агрохимик, биохимик и физиолог растений, основоположник советской научной школы в агрономической химии.

Агрохимия исследует влияние разных типов почв и удобрений на обмен веществ в растении, на формирование урожая, его величину и качество. С другой стороны, изучается влияние растений на плодородие почвы, взаимоотношения почвы и удобрений [2, 14].

Д. Н. Прянишников одной из задач агрохимии считал «изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на

химические процессы, протекающие в почве и растении, которые могут повышать урожай или улучшать его состав [2, 14].

Главным способом вмешательства в этот круговорот является применение удобрений» (рис. 1.2.).

Удобрения - это вещества, применяемые для улучшения питания растений, свойств почвы, повышения урожаев [2, 14].



Рис.1.2. Треугольник Д. Н. Прянишникова

Агрохимия изучает удобрения, их свойства и влияние не только на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, но и на окружающую среду.

Главная цель применения удобрений – улучшение питания растений.

Изучение питания растений, воздействия вносимых удобрений на обмен веществ в растениях и направленность биохимических процессов связывают агрохимию с физиологией и биохимией растений.

При изучении питания растений и разработке способов его регулирования большое значение имеют биологические особенности сельскохозяйственных культур, технологии их возделывания.

Первый объект исследования – растения, второй – почва. Изучение превращения в почве вносимых удобрений, их действие на свойства почвы связывают агрохимию с почвоведением. Третий объект агрохимии – сами удобрения; изучая их свойства и эффективность, агрохимия связана не только с сельскохозяйственным производством, но и

с химической промышленностью, ибо оценка новых видов и форм удобрений, выпускаемых ею, определение объема на их производство почвы [16].

В агрохимии используются биологические, лабораторные и статистические методы.

Широко применяются биологические методы: полевой, вегетационный, лизиметрический, растительной диагностики и другие, которые в сочетании с наблюдениями и условиями внешней среды представляют важнейшие инструменты научной агрономии.

Одним из важнейших методов определения плодородия почв, количественной оценки агротехнической эффективности удобрений является полевой опыт – основной метод изучения действия удобрений в разных почвенно-климатических зонах, в условиях разной агротехники.

Полевой опыт завершает поисковое исследование, количественно оценивает агротехнический и экономический эффект новой формы удобрения, нового способа или технологии применения удобрений и дает объективные основания для внедрения научного достижения в производство.

Широкий круг вопросов питания растений может быть решен с помощью вегетационного метода при выращивании растений в искусственных средах, в сосудах с водой или песком, а также в почвенных культурах.

Вегетационный метод позволяет строго контролировать и регулировать условия питания культурных растений.

Промежуточное положение между вегетационным и полевым опытами занимают лизиметрические опыты с растениями, которые широко используются при изучении передвижения и баланса питательных веществ в естественных условиях.

Аналогичное положение занимают и вегетационно-полевые эксперименты, которые проводят в поле в цилиндрических или квадратных сосудах (ящиках) без дна.

Для оценки не только агротехнической, но и экономической эффективности удобрений проводят производственные опыты с удобрениями.

В перечисленных выше биологических методах (полевом, вегетационном, лизиметрическом и других) главным объектом изучения выступает растение.

Наряду с биологическими методами агрохимия широко использует лабораторные методы анализа растений, почв и удобрений. Эти методы делят на химические, физические, физико-химические, микробиологические и другие [2, 14]. Среди них важное место принадлежит методу меченых атомов с использованием радиоактивных и стабильных изотопов. Эти методы часто называют биофизическими.

Широко в агрохимических исследованиях используется метод эмиссионной пламенной и атомно-абсорбционной спектрофотометрии для определения ряда макро- и микроэлементов в почвах, кормах и растениях.

Применяются также нейтронно-активационный анализ, рентгенорадиометрический, инфракрасной спектроскопии и другие. Практически все известные методы количественного анализа используются в агрохимии.

Агрохимический анализ растений проводится с целью [16]:

- оценки качества урожая сельскохозяйственных культур и его изменений в зависимости от условий выращивания, в том числе от применения удобрений;
- определения размеров выноса элементов питания урожаем и динамики их потребления в течение вегетации;
- диагностики питания растений и определения потребности в удобрениях;
- изучения использования культурами питательных элементов из удобрений.

Агрохимический анализ почв проводится с целью [55]:

1. установления обеспеченности почв элементами питания и, следовательно, потребности в удобрениях;
2. изучения свойств почв, которые определяют принципиальные вопросы применения удобрений и проведения химической мелиорации почв, таких как поглотительная способность почв, реакция почвы, буферность;
3. наблюдения за изменением содержания элементов питания в почве в зависимости от приемов агротехники и применения удобрений;

4. изучения процессов взаимодействия удобрений с почвой.

Агрохимический анализ удобрений проводится с целью [7]:

1. определения содержания действующего вещества в минеральных удобрениях и мелиорантах, для проверки их соответствия установленным стандартам и требованиям, для проведения их сертификации;

2. оценки качества органических удобрений в зависимости от способа их накопления, хранения и применения.

Приложение агрохимии в практике сельскохозяйственного производства осуществляется главным образом по линии эффективного использования разнообразных местных и промышленных удобрений.

Таким образом, агрохимия является научной основой химизации земледелия, которая наряду с комплексной механизацией и мелиорацией земель определяет научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, является одним из основных путей его интенсификации, повышения его продуктивности [13].

Контрольные вопросы

1. Что такое удобрения?
2. С какой целью проводят агрохимический анализ почв?
3. С какой целью проводят агрохимический анализ удобрений?
4. Что является научной основой химизации земледелия?
5. Какие бывают удобрения?
6. Какова роль удобрений в современном АПК?

Глава 2. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ИХ СВОЙСТВА

Минеральные удобрения - соли, получаемые путем химической или механической обработки минерального сырья (апатитов, фосфоритов, калийных солей, доломитов и др.).

Исходным сырьем для удобрений является и атмосферный азот, побочные продукты некоторых химических производств, содержащие элементы питания для растений (газы коксовых печей, шлаки) [2, 14].

Минеральные удобрения бывают:

1. ископаемого происхождения

2. промышленного происхождения

Минеральные удобрения содержат питательные элементы в минеральной форме.

Сырьем для производства минеральных удобрений служат ископаемые залежи (для фосфорных, калийных) и атмосфера (для азотных), а также побочные продукты промышленного производства.

По содержанию элементов питания различают [28]:

- однокомпонентные минеральные удобрения
- комплексные минеральные удобрения.

Однокомпонентные содержат один основной элемент питания: азот, фосфор, калий, магний, бор и т.д.

По агрегатному состоянию однокомпонентные удобрения они бывают [14]:

- 1. твердые,
- 2. жидкие,
- 3. суспензированные

По строению однокомпонентные удобрения бывают:

- 1. порошковидные,
- 2. кристаллические
- 3. гранулированные.

Комплексные удобрения содержат два и более элемента питания и в зависимости от технологии производства могут быть:

- 1. сложными
- 2. сложносмешанными
- 3. смешанными.

Та часть удобрения, которая может быть использована растением, называется **действующим веществом (д.в.)** [14].

Действующее вещество (д.в.) удобрения – основной элемент питания растений, содержащийся в удобрении.

В настоящее время содержание действующего вещества в макроудобрениях измеряется в расчете на:

- 1. элементарный азот (N),
- 2. пятиокись фосфора (P_2O_5),
- 3. окись калия (K_2O).

Действующее вещество выражается в процентах от физической массы [14]:

- 1. в азотных удобрениях – в расчете на N,

2. в фосфорных – на P_2O_5 ,
3. калийных – на K_2O ,

Для пересчета рекомендуемой дозы удобрений в килограммах д.в. в физическую массу конкретного вида удобрений дозу N , P_2O_5 и K_2O умножают на 100 и делят на процент действующего вещества в удобрении [2, 14].

Вид минерального удобрения - это категория удобрения, выделяемую по действующему веществу,

Форма минерального удобрения - это характеристика удобрения по химическому составу.

По характеру воздействия на почву и рост растений удобрения делятся на удобрения прямого и косвенного действия.

Удобрения прямого действия используются для питания растений, для создания продуктивности культур (азотные, фосфорные, азотно-фосфорные, борные, азотно-фосфорно-калийные, навоз, компосты и др.).

Удобрения косвенного действия применяются для улучшения свойств почвы или влияющие на мобилизацию находящихся в ней питательных веществ (известняковые, гипс, бактериальные).

Деление удобрений на прямое и косвенное действие весьма условно, так как любое удобрение прямого действия одновременно является и косвенным.

Попадая в почву, удобрения могут оказывать, как положительное влияние на свойства почвы и питательный режим растений, так и отрицательное (переизвесткование и за- фосфачивание почв, накопление в растениях нитратов, тяжелых металлов и неметаллов, радионуклидов).

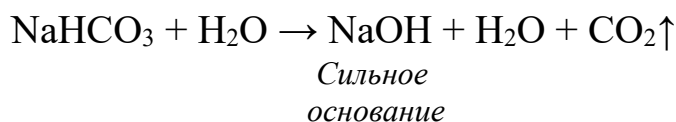
1. Физиологически кислые, из которых растения энергично поглощают катионы, а из клеток корня в прикорневую зону выделяются катионы H^+ и, как следствие, почва подкисляется.



К физиологически кислым удобрениям относят все калийные и азотные соли, азот которых находится в аммонийной форме. Их нужно

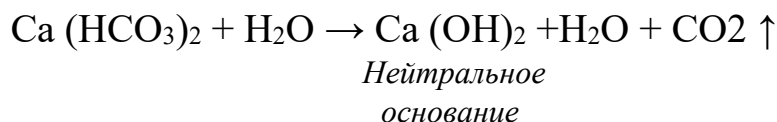
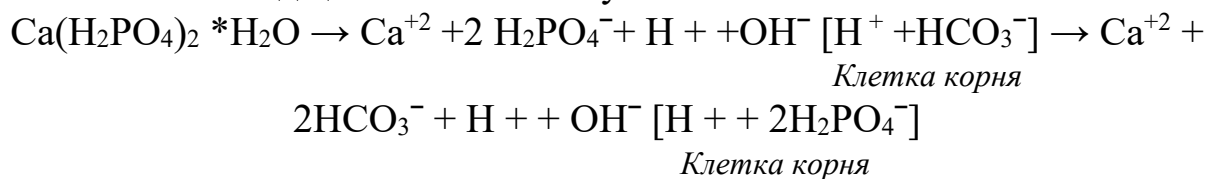
вносить в почву с нейтральной реакцией, по фону извести или физиологическую кислотность удобрений нейтрализовать известью/

2. Физиологически щелочные соли, из которых растения в первую очередь и в больших количествах поглощают анионы NO_3^- , а в прикорневой зоне образуются сильные основания, нейтрализующие кислотность почвы.



К этой группе солей относят натриевую и кальциевую селитры (NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Их необходимо вносить в кислые почвы.

3. Физиологически нейтральные. Эту группу образуют фосфорные удобрения. Их можно вносить в почвы с любой реакцией. Они не подкисляют и не подщелачивают почву.



Важнейшими физическими, химическими и механическими свойствами минеральных удобрений, которые необходимо учитывать при их хранении и транспортировке и от которых зависит эффективность их действия, являются [2, 14]:

1. влагоемкость,
2. гигроскопичность,
3. гранулометрический состав
4. прочность гранул.
5. рассеиваемость,
6. растворимость в воде,
7. слеживаемость.

Для предотвращения порчи удобрений при хранении необходимо учитывать [2, 14]:

1. насыпную плотность,
2. угол естественного откоса,
3. способность к расслаиванию (для смешанных удобрений),
4. вязкость.

При организации хранения удобрений следует учитывать [2, 14]:

1. огне- и взрывоопасность,
2. свободную кислотность
3. способность к ретроградации
4. выделению аммиака.

Влажность не должна превышать значения, утвержденные государственным стандартом и техническими условиями. При отклонении влажности минеральных удобрений от стандартной существенно меняются их физико-механические свойства, снижается качество [2, 14].

Гигроскопичность – способность минеральных удобрений поглощать влагу из воздуха – оценивается по 10-балльной системе. [14]

Сильной гигроскопичностью обладают кальциевая селитра (до 9,5 балла), аммонийная селитра (9,3) [14];

Средне- и слабогигроскопичны мочевины (3,6), двойной гранулированный суперфосфат (4,7), хлористый калий (3,2 – 4,4) [14].

При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы становятся непрочными, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость удобрений [2, 14].

Условия хранения, транспортировки удобрений, их упаковка зависят от их гигроскопичности. Без тары допускается перевозить и хранить только слабогигроскопичные удобрения – с баллом 3 и ниже, сильногигроскопичные удобрения (7 – 10 баллов) хранят в герметичной таре (полиэтиленовых мешках) [2, 14].

Влагоемкость влияет на механический рассев удобрений. Предельная влагоемкость соответствует максимальной влажности удобрений, при которой сохраняется возможность удовлетворительного их внесения туковыми сеялками [2, 14].

Слеживаемость удобрений зависит от их влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, а также условий и продолжительности хранения [2, 14].

Слеживаемость определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения [2, 14].

Степень слеживаемости оценивается по семибалльной шкале. К сильнослеживающимся удобрениям относятся карбамид (с гранулами 0,2 – 1 мм) – 7 баллов, мелкокристаллический хлористый калий – 6 баллов. Слеживаемость карбамида, сульфата аммония, аммонийной селитры (фракция 1–3 мм) оценивается соответственно 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 баллами. Практически не слеживаются сульфат калия и калимагnezия. Уменьшению слеживаемости удобрений способствует выпуск их в виде крупных кристаллов и гранул, а также хранение и транспортировка в герметичной таре [2, 14].

Рассеиваемость зависит от гранулометрического состава, сыпучести и прочности гранул. Оценивается по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость, тем выше балл. Равномерность распределения удобрений по поверхности почвы зависит от сыпучести удобрений и конструкции машин, вносящих удобрения [2,14].

Гранулометрический состав, или тонина помола, определяется механически – просеиванием удобрений через сита. От удельного веса крупных и мелких фракций зависят слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При внесении удобрений, однородных по гранулометрическому составу, центробежными машинами они равномерно поступают на дозирующее устройство и распределяются по ширине захвата машины [2, 14].

Прочность гранул зависит от влажности, размера и формы частиц, плотности упаковки удобрений. Сохранность гранулометрического состава удобрений при хранении, транспортировке и внесении в почву определяется их физическими свойствами, сыпучестью, слеживаемостью. Прочность гранул проверяется испытаниями на раздавливание (кгс на 1 см²) и истирание (в %), которые проводятся на специальных приборах [2, 14].

Угол естественного откоса – это угол конуса удобрения, насыпанного на горизонтальную поверхность. Этот показатель учитывается при строительстве складов, где удобрения хранятся насыпью, проектировании бункеров, транспортных средств. Угол естественного откоса является также показателем рассеиваемости удобрений [2, 14].

Насыпная плотность (объем 1 т в 1 м³) учитывается при проектировании складских помещений, бункеров. Зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления верхних слоев [2, 14].

Контрольные вопросы

1. Какое из определений наиболее полно характеризует понятие «удобрение»?
2. Какое из утверждений лежит в основе деления удобрений на органические и минеральные?
3. Какое из утверждений лежит в основе деления удобрений на промышленные и местные?
4. Какое из утверждений лежит в основе деления удобрений на однокомпонентные и комплексные?
5. Что такое вид минерального удобрения?
6. Что такое форма минерального удобрения?
7. Укажите действующее вещество азотных удобрений.
8. Укажите действующее вещество фосфорных удобрений.
9. Укажите действующее вещество калийных удобрений.

Глава 3. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Азот был открыт Резерфордом в 1722 г., но название ему дал А. Лавуазье в 1777 г.

Название происходит от греческого α – отрицательная частица – и zoo – жизнь – «не поддерживающий жизни», так как азот не поддерживает дыхания и горения.

Позже было установлено, что азот (N) – один из основных элементов, необходимых растениям. Он входит в состав аминокислот, всех простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ в растениях, и передаче наследственных свойств [2, 14].

Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. Без азота рост и развитие растений невозможны [2, 14].

Основными источниками азота для растений являются [14]:

1. органические и минеральные удобрения,
2. биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями и свободноживущими микроорганизмами,
3. азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами [2, 14].

Главные химические соединения, из которых растения усваивают азот – это:

1. соли азотной кислоты (нитраты)
2. соли аммония.

В естественных условиях растения потребляют нитрат-ион и катион аммония, находящиеся в почвенном растворе и в обменно-поглощенном почвенном коллоидами состоянии.

Поступившие в растения минеральные формы азота проходят сложный цикл превращений, в конечном итоге включаясь в состав органических азотистых соединений – аминокислот, амидов и, наконец, белков [2, 14].

Как показали исследования Д. Н. Прянишникова, благодаря образованию амидов обеззараживается аммиак, накопившийся в растениях при обильном аммиачном питании и недостатке в растениях углеводов.

При недостатке углеводов и органических кислот аммиачный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая их «аммиачное отравление». Растения, репродуктивные органы которых содержат большое количество углеводов, быстро усваивают аммиачный азот и хорошо отзываются на внесение аммиачных удобрений [35].

Синтез белков, состоящих из аминокислот, соединенных между собой пептидными связями, происходит с участием нуклеиновых кислот, являющихся матрицей, на которой фиксируются и соединяются аминокислоты в определенной последовательности с образованием разнообразных белковых молекул [2, 14].

Одновременно с синтезом в растениях происходит распад белков на аминокислоты (отщепление аммиака под действием протеолитических ферментов). В молодых растущих органах и растениях белков синтезируется больше, чем распадается; по мере старения, наоборот, расщепление идет быстрее, чем синтез [2, 14].

Растения поглощают азот и синтезируют белки и другие органические азотистые вещества в течение всей вегетации, но интенсивность этих процессов в разные фазы роста и развития неодинакова.

При прорастании семян расщепляются запасные белки эндосперма или семядолей и продукты гидролиза используются для построения белков других органов растения. По мере формирования фотосинтезирующего листового аппарата и корневой системы питание растений и синтез белка происходят за счет минерального азота, поглощаемого из почвы [46].

Наиболее интенсивно азот поглощается растениями при максимальном росте вегетативных органов – стеблей и листьев. Из стареющих частей растений, где преобладает распад белка, продукты гидролиза передвигаются в молодые растущие органы. При образовании репродуктивных органов белковые вещества вегетативных частей растения распадаются и продукты распада поступают в репродуктивные органы, где из них вновь синтезируются белки. Постепенно поглощение азота из почвы уменьшается, пока не прекращается вовсе.

Содержание азота сильно варьирует в разных растениях и органах одного и того же растения. Семена содержат больше азота, чем листья и стебли в конце вегетации. До 90 % азота входит в состав белков. Бобовые растения во всех органах содержат больше азота, чем злаковые.

При недостатке азота рост и развитие растений резко ухудшаются. Прежде и сильнее других органов страдают листья: они растут мелкие, светло-зеленого цвета, преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшается формирование репродуктивных органов и налив зерна.

При нормальном азотном питании растения образуют мощные листья и стебли с интенсивной зеленой окраской, хорошо растут и куస్తятся, нормально формируют репродуктивные органы [2, 14].

В условиях избыточного азотного питания, особенно во второй половине вегетации, задерживается созревание растений, они формируют большую вегетативную массу, но мало зерна, клубней и корнеплодов [2, 14].

Увеличение содержания в них азотистых веществ отрицательно сказывается на хозяйственной ценности урожая.

При избыточном азотном питании в растениях накапливаются опасные для людей и животных количества нитратов.

Качество растениеводческой продукции зависит и от вида азотных соединений, усваиваемых растениями.

Азот составляет около 1,5% сухой массы растений.

Азот входит в состав белков (основного строительного материала растения), ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла и других соединений.

Азот определяет ростовые процессы, размеры и интенсивность синтеза белка, являющегося катализатором всех процессов в растении, в том числе фотосинтеза

Минеральные формы азота (NH_4^+ , NH_2 , NO_3^- , NO_2^-)

- Все три формы соединений азота – нитратная NO_3^- , аммонийная (NH_4^+), и амидная (NH_2) могут служить растению источником азотного питания.

- Из всех поступивших в растения форм соединений азота только один **аммиак** может быть непосредственно использован для биосинтеза аминокислот. (Поэтому его называют «Быстрый» азот)

- **Нитраты и нитриты (NO_3^- , NO_2^-)** могут вовлекаться в синтез аминокислот только после их восстановления в тканях растений. Нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. В то же время нитраты при обильных поливах легко вымываются из пахотного слоя в нижележащие горизонты почвы, что приводит к загрязнению окружающей среды и неэффективному использованию удобрений.

- **Аммонийный азот (NH_4^+)**, в отличие от нитратов, содержит аммиак в свободном виде и в значительных количествах без вреда не может содержаться в тканях растений. Накопление его, особенно при недостатке углеводов (источника кетокислот), ведет к аммиачному отравлению растений. Поэтому аммонийные (аммиачные) удобрения нельзя вносить большими дозами перед посевом, особенно под культуры, семена которых бедны углеводами. Нельзя вносить в поверхностный слой почвы, т.к. может необменно закрепляться при пересыхании слоя.

- Амидная форма (NH_2) малодоступна растениям через корневое питание, только после превращения в аммонийную или нитратную форму, в процессе аммонификации и нитрификации. Однако является хорошим источником азотного питания через лист.

При аммиачном (NH_4^+) питании повышается восстановительная способность растительной клетки, больше образуется восстановленных органических соединений.

При нитратном (NO_3^-) питании, наоборот, преобладает окислительная способность клеточного сока, больше образуется органических кислот

Аммиачный и нитратный азот при определенном сочетании внешних и внутренних условий могут быть равноценными источниками питания растений [2, 14].

Усвоение растениями аммиачного и нитратного азота зависит от реакции среды, концентрации в почве сопутствующих катионов, анионов и зольных элементов, концентрации в почвенном растворе кальция, магния, аммонийных и нитратных солей, обеспеченности растений углеводами и биологических особенностей культуры.

При нейтральной реакции аммиачные соли усваиваются растениями лучше, а при кислой – хуже, чем нитратные [2, 14]. При аммиачном питании положительно влияет на урожай повышенная концентрация в питательном субстрате кальция, магния и калия, а при нитратном питании важное значение имеет достаточное обеспечение растений фосфором и молибденом.

Отрицательное влияние избыточной концентрации аммиачного азота в растворе наиболее вероятно при внесении азотных удобрений в рядки при посеве. Поэтому для внесения одновременно с севом лучше использовать нитратные, а не аммиачные формы удобрений и вносить их небольшими дозами.

Все минеральные формы азота подвергаются постоянным превращениям в почве, поэтому их определение в лаборатории наиболее целесообразно непосредственно перед посевом, а также для оценки нужды в подкормке.

- Общий азот ($N_{\text{общ}}$) – показывает общее содержание азота в почве, как органического, так и минерального. Не дает четкого представления о содержании доступных форм азота растениям.

- Легкогидролизуемый азот ($N_{\text{л.г.}}$) – для кислых почв
- Щелочногидролизуемый азот ($N_{\text{щ.г.}}$) – для нейтральных и щелочных почв

Данные методы основаны на допущении, что кислоты и щелочи, используемые при анализе, извлекают (минерализуют) из почвы азотсодержащие органические соединения, легко подвергающиеся минерализации в природных условиях и благодаря этому являющиеся ближайшими источниками пополнения минеральных соединений азота, используемых растениями.

- Нитрификационная (нитрифицирующая) способность почв – определение нитратов, накапливающихся в почве в результате разложения азотсодержащих органических соединений, при компостировании почвы с соблюдением аэрации и оптимальных условий температуры и влажности.

Эти три формы азота служат достоверным источником данных для оценки обеспеченности почвы азотом (табл. 1).

Таблица 1

Градация по степени обеспеченности почвы азотом

Класс почвы	Содержание	Легкогидролизующий азот, мг /кг (по Тюрину и Кононов)			Щелочно-гидролизующий азот, мг/кг (по Корнфилду)	Нитрификационная способность мг NO ₃ /кг	NO ₃ , мг/кг (для слоя 0-20 см)	NH ₄ ,мг/кг (для слоя 0-20 см)
		pH _{KCl} <5	pH _{KCl} 5-6	pH _{KCl} >6				
1	Очень низкое	< 40	< 30	< 30	< 100	< 5,0	<10	<5
2	низкое	41-50	31-40	31-40	101-150	5, 1-8,0	10-15	5-15
3	среднее	51-70	41-60	41-50	150-200	8,1-15, 0	15-20	15-30
4	повышенное	71-100	61-80	51-70	>200	15,1-30, 0	-	-
5	высокое	101-140	81-120	71-100	-	30,1-60,0	>20	>30
6	Очень высокое	>140	>120	>100	-	>60	-	-

Факторы риска дефицита азота

- Низкий уровень pH (кислая реакция среды);
- Внесение в почву большого количества соломы без добавления азотных удобрений (необходимо добавлять в виде минеральных удобрений 1% азота от массы соломы)
- Холодная погода (особенно рано весной).
- Недостаток влаги (необменная фиксация NH₄) или, наоборот, обильное выпадение осадков (вымывание NO₃).

При сухой и прохладной погоде в почву лучше вносить нитратные удобрения, чем аммонийные.

3.1. Биогеохимический цикл азота

Азот является основным газом атмосферы, где его объемная доля составляет 78%. Биосферный круговорот азота хорошо отрегулирован и носит замедленный характер.

Большинство живых организмов может использовать азот только в виде сложных соединений с другими элементами. Азот входит

в состав белков и других важных органических соединений, составляющих живые клетки.

Перевод азота из одних неорганических соединений (оксидов азота, аммиака, нитратов, нитритов, солей аммония) в другие происходит при помощи особых бактерий: азотфиксирующих, денитрифицирующих, нитратных, нитритных и др. (рис. 3.1.).

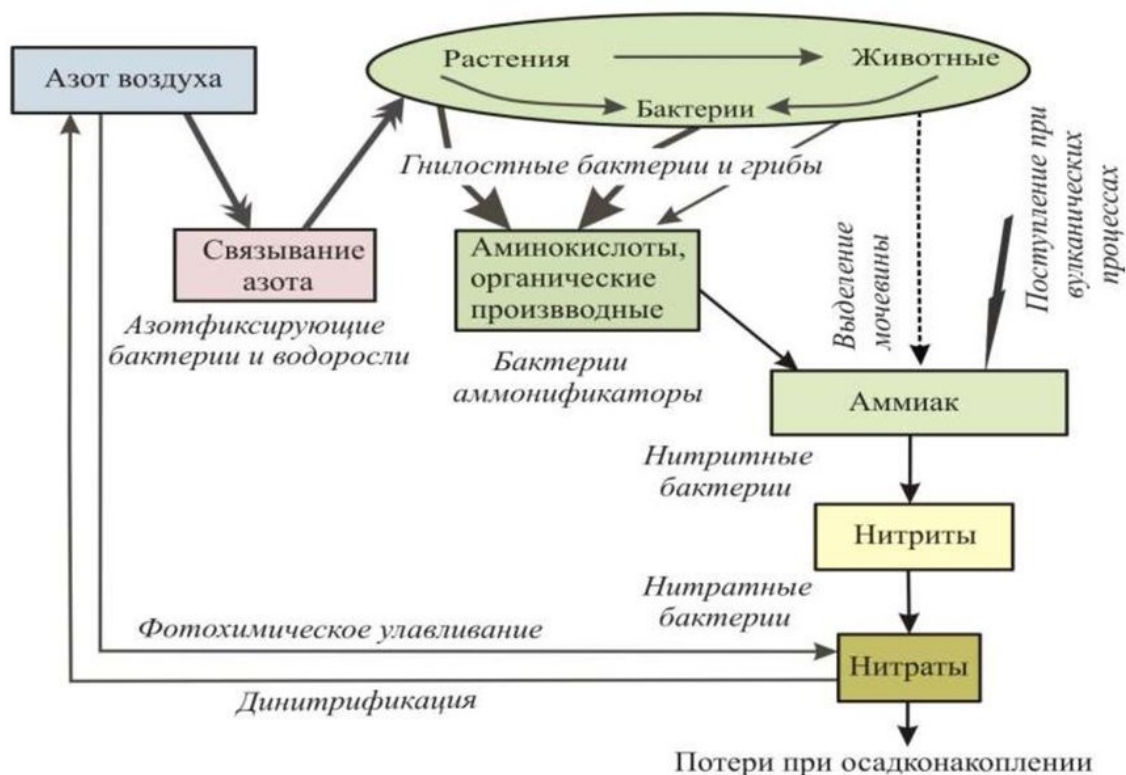


Рис.3.1. Биогеохимический цикл азота

Газообразный азот атмосферы поглощается азотфиксирующими бактериями (и некоторыми видами водорослей), в процессе жизнедеятельности которых образуются растворимые соединения азота. Определенная разновидность бактерий образуют соединения азота, непосредственно поглощающиеся растениями. Примером такого вида бактерий являются «клубеньковые», живущие на корнях растений из семейства бобовых и обуславливающие образование характерных вздутий – «клубеньков».

Сравнительно небольшое количество атмосферного азота реагирует с кислородом в результате воздействия газовых разрядов. Образующиеся кислые соединения азота с дождями попадают в почву.

Растения (продуценты) потребляют образованные бактериями соединения азота и синтезируют на их основе сложные органические соединения. Образованные растениями вещества могут передаваться животным (консументам) в процессе питания.

Соединения азота, образующиеся в процессе жизнедеятельности продуцентов и консументов, со временем попадают в почву. При распаде органических соединений азота образуются неорганические вещества. Важную роль в этом процессе играют аммонифицирующие бактерии, которые получают необходимую им энергию в процессе восстановления органических азотсодержащих веществ до аммиака и солей аммония.

Обитающие в почве нитратные и нитритные бактерии осуществляют сложный процесс нитрификации, включающий ряд последовательных реакций преобразования ионов аммония (NH_4^+) до нитрат-ионов (NO_3^-), которые могут опять использоваться растениями-продуцентами. Таким образом, почвенные бактерии, продуценты и консументы образуют малый (биологический) круговорот азота – важную часть его биогеохимического цикла [4].

В почве также происходит процесс денитрификации: под действием денитрифицирующих бактерий из растворимых соединений азота образуются газообразные вещества – происходит возвращение азота в атмосферу.

Определенное количество азота на сотни тысяч лет выключается из круговорота, переходя в глубинные отложения литосферы. Эти потери отчасти компенсируются поступлением азота в атмосферу с вулканическими газами при извержении вулканов. Газообразные соединения азота выделяются также при сжигании каменного угля, торфа, при горении различных органических веществ.

Человек оказывает существенное влияние на перемещение азота в биосфере. В результате деятельности человека в растворимые соединения азота (нитраты, нитриты, соли аммония) переводится азота на 60 % больше, чем в процессе жизнедеятельности всех других организмов. Но, благодаря большому резервному фонду в атмосфере, недостаток азота быстро восполняется за счет перемещения газообразных веществ. Поэтому круговорот азота в настоящее время сохраняет цикличность и относится к числу наиболее отлаженных природных круговоротов.

3.2. Содержание и форма соединений азота в почве и их превращение

Основная часть азота (94 – 95 %) находится в почве в виде сложных органических соединений [2, 14].

В пахотном слое (0-25 см) почв разных типов количество его колеблется в широких пределах – от 0,05 до 0,5 % и зависит от содержания в них органических веществ: больше азота в мощных черноземах, меньше – в бедных гумусом дерново-подзолистых почвах [2, 14].

В пределах одной почвенной зоны количество азота в почвах также сильно различается в зависимости от их гранулометрического состава. В дерново-подзолистых песчаных почвах содержится в среднем 0,07–0,1 % азота, супесчаных – 0,08 – 0,13, суглинистых – 0,1– 0,16, глинистых – 0,1– 0,23, в торфяных – 2,5 – 5 % [2, 14].

Общие запасы азота в пахотном слое 1 га могут колебаться от 1,5 т (супесчаная дерново-подзолистая) до 4 т (суглинистая почва) и зависят от степени обеспеченности почв гумусом. Запасы азота в пахотном слое торфяных почв могут достигать 16 – 20 т/га [2, 14].

Среди органических соединений азота его легкогидролизуемая фракция (амиды, часть аминов, часть необменного аммония) является в агрономическом отношении наиболее ценной, так как она является ближайшим резервом в питании растений. Запасы легкогидролизуемых соединений азота в пахотных почвах с повышением окультуренности повышаются [2, 14].

При окультурировании легких почв интенсивность аккумуляции фракции легкогидролизуемого азота опережает интенсивность накопления общего азота [2, 14].

В суглинистых почвах содержание трудногидролизуемого азота (часть аминов, амиды, необменный аммоний, часть гуминов) значительно преобладает над содержанием легкогидролизуемого, а в песчаных почвах, наоборот [2, 14].

Негидролизуемый азот (большая часть аминов, гумины, меланины, битумы, остаток необменного аммония) – фракция представленная более стойкими к гидролизу и микробиологическому разложению органическими азотсодержащими соединениями – составляет большую часть валовых запасов азота дерново-подзолистых почв (80 – 82 % в слое 0 – 40 см в суглинистых и супесчаных почвах и 70 – 75 % в

песчаных). Закономерности распределения в почвенном профиле негидролизующихся соединений азота в целом совпадают с распределением общего азота [2,14].

С увеличением гидроморфности почв содержание азота в них возрастает. Запасы общего азота в метровом слое временно избыточно увлажняемых почв возрастают по сравнению с автоморфными: в суглинистых – на 27, супесчаных – на 14, песчаных – на 11 %; в глееватых соответственно – на 111, 53 и 29 %. При этом с возрастанием степени гидроморфности почв доля минерального азота снижается, а легкогидролизующего и трудногидролизующего возрастает. Избыточно увлажняемые почвы в отличие от автоморфных содержат больше влаги и имеют более короткий благоприятный период для процессов нитрификации [2, 14].

Однако снабжение сельскохозяйственных растений азотом зависит не от общего его количества в почве, а от содержания усваиваемых растениями минеральных соединений. Но только около 1 % азота почвы находится в легкоусвояемых минеральных формах (нитратной и обменного аммония).

Наряду с обменным аммонием в почве присутствует фиксированный аммоний, который не извлекается из почвы 1 М раствором KCl. В пахотном горизонте дерново-подзолистых почв фиксированного аммония содержится от 20 до 60 мг в 1 кг почвы (в пересчете на N), т.е. на фиксированный аммоний приходится 2–5 % общего азота почвы.

В почвах связного гранулометрического состава в нижних горизонтах почвенного профиля содержание фиксированного аммония составляет уже 12–20 % общего.

Фиксация ионов NH_4^+ обуславливается вхождением их в межпакетные промежутки кристаллической решетки почвенных глинистых минералов с последующим проникновением в гексагональные пустоты в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев. Часть фиксированного аммония может быть доступна растениям: та его фракция, которая не является структурным элементом решетки.

Таким образом, так как только 1 % азота содержится в легкоусвояемых формах, а остальная часть минерального азота (3–5 % об-

щего) находится в фиксированной (недоступной) форме, то нормальное снабжение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических веществ (рис. 3.2.) [2, 14].

В общем виде разложение последних происходит следующим образом:

белки, гуминовые вещества → аминокислоты, амиды → аммиак →
нитриты → нитраты → молекулярный азот [2, 14].

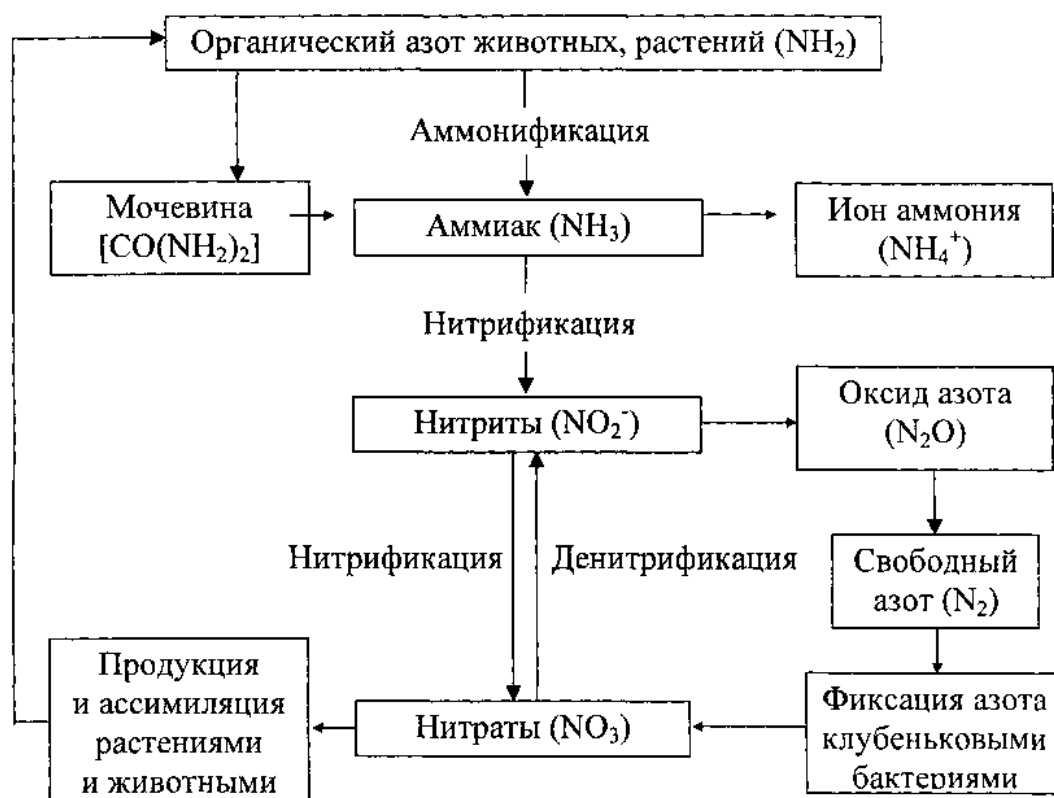


Рис.3.2. Азотные превращения

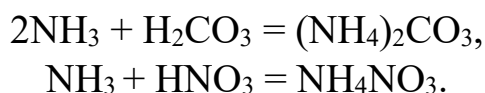
Процесс разложения органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется **аммонификацией**.

Аммонификация осуществляется многочисленными аэробными и анаэробными почвенными микроорганизмами, бактериями, актиномицетами и плесневыми грибами.

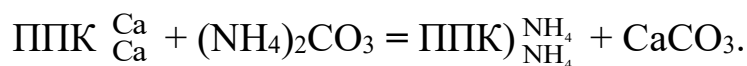
Они выделяют протеолитические ферменты, под воздействием которых белковые вещества распадаются до аминокислот. Аминокислоты легко усваиваются микроорганизмами и под действием ферментов микробных клеток (дезаминаз и дезамидаз) подвергаются дезами-

нированию и дезамидированию: от amino- и амидосоединений отщепляется аммиак и образуются различные органические кислоты, которые в свою очередь разлагаются до простейших соединений – CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 .

Выделившийся аммиак (NH_3) образует соли с соответствующими органическими и минеральными кислотами (угольной, азотной, муравьиной, уксусной и др.), которые также получают при минерализации органического вещества почвы:



Аммоний поглощается почвенными коллоидами:



Аммонификация происходит во всех почвах, при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильных кислот и щелочной реакциях резко замедляется.

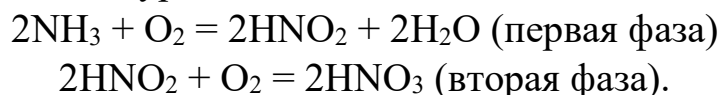
На скорость аммонификации влияют также температура и влажность почвы, другие факторы.

В анаэробных (безкислородных) условиях азотистые органические вещества разлагаются до аммиака.

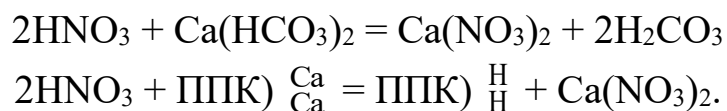
В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов.

Процесс нитрификации выполняется группой специфических аэробных бактерий, для которых окисление аммиака является источником энергии.

С. В. Виноградским установлено, что в окислении аммиачных солей до азотистой кислоты (первая фаза) принимают участие бактерии рода *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и *Nitrosospira*, а до азотной кислоты (вторая фаза) – бактерии рода *Nitrobacter*. Нитрификацию можно описать следующими уравнениями:



Нитратная форма азота при соответствующих условиях может хорошо поглощаться растениями. Образовавшаяся в почве в результате нитрификации азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями почвы:



Нитрификация протекает интенсивно при хорошем доступе воздуха, 60–70% -ной влажности почвы, температуре 25–32 °С и рН КС1 6,2–8,2. Ранней весной из-за низких температур и переувлажнения почвы эти процессы протекают медленно. По мере прогревания почвы количество нитратов увеличивается, летом оно бывает максимальным, а осенью снова убывает.

Известкование кислых почв, систематическое внесение органических и минеральных удобрений способствуют активизации деятельности микроорганизмов и тем самым большей минерализации органического вещества с образованием усвояемых соединений азота.

Однако образующиеся в процессе нитрификации нитраты, будучи подвижными соединениями, могут вымываться из почвы, а также подвергаться **денитрификации** – образованию газообразных форм азота (NO , N_2O и N_2), в результате чего также теряется азот почвы [2, 14].

Денитрификация - это естественный процесс восстановления денитрифицирующими бактериями нитратов и нитритов до аммиака и газообразного азота[14].

В денитрификации участвует обширная группа бактерий-денитрификаторов (*Bact. denitrificas*, *Bact. stutzer*, *Bact. fluorescens* и др.). Этот процесс идет особенно интенсивно, если почва имеет щелочную реакцию, содержит мало воздуха, но большое количество органического вещества с большим содержанием клетчатки.

В восстановлении нитратов до нитритов участвует фермент нитратредуктаза, а в дальнейшем восстановлении нитритов – нитритредуктаза. Восстановление нитратов денитрифицирующими бактериями идет через ряд промежуточных этапов [14].



нитрат → нитрит → гипонитрит → закись азота → молекулярный азот

Основными газообразными продуктами биологической денитрификации являются молекулярный азот и закись азота, улетучивающиеся из почвы. Кроме того, потери азота происходят из-за косвенной денитрификации или хемоденитрификации, т.е. из-за химического восстановления нитратов, образующихся в ходе нитрификации [2, 14].

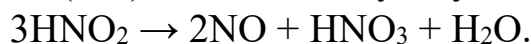
В хемоденитрификации участие микроорганизмов ограничено разложением органического азотистого вещества до аминокислот, аммиака и азотистой кислоты. Вступая между собой в реакцию, эти соединения восстанавливают свой азот до молекулярного [2, 14].

Последний образуется также при химическом взаимодействии таких промежуточных продуктов окисления в процессе нитрификации, как гидроксиламин и азотистая кислота [2, 14]:



Восстановление нитратов до NO, N₂O и N₂ возможно и при реакции их с почвенным органическим веществом, сохраняющим фенольные и хинонные группы, и при взаимодействии с ионами некоторых тяжелых металлов (Mn²⁺, Fe²⁺).

Кроме того, азотистая кислота, будучи очень нестойкой, в кислых почвах (рН КС1 < 5) легко разлагается с образованием азотной кислоты и окиси азота (NO), а последняя улетучивается из почвы:



Всего в результате денитрификации теряется от 15 до 30% азота, вносимого с удобрениями.

Как показали последние исследования, азот в газообразной форме теряется также при аммонификации и нитрификации.

Одновременно с минерализацией органического вещества, нитрификацией и денитрификацией в почве происходят обратные процессы – из минеральных вновь образуются органические соединения азота, неусваиваемые растениями [2, 14].

Микроорганизмы углеводы и азот переводят в белок плазмы своих тел. При отмирании и разложении микроорганизмов белковый азот частично снова переходит в минеральную форму (NH₃), а часть его в процессе гумификации микробного белка включается в состав образующихся в почве гумусовых веществ.

Процессы мобилизации и иммобилизации азота протекают в почве одновременно. Их интенсивность и соотношение между ними в

значительной степени определяют азотный режим почвы и условия азотного питания растений.

3.3. Круговорот и баланс азота в земледелии

Образовавшиеся в почве минеральные соединения азота не накапливаются в ней в больших количествах, так как потребляются растениями, а также используются микроорганизмами и частично снова превращаются в органическую форму [2, 14].

Внесение азотных удобрений не только значительно увеличивает содержание азота в почве, но и способствует усилению минерализации органического азота. Как показали исследования, проведенные с использованием стабильного изотопа азота ^{15}N в полевых условиях растения усваивают из удобрений 40 – 50 % азота [2, 14].

В органической форме в почве закрепляется 10 – 20 % азота нитратных и 30 – 40 % аммиачных и аммонийных соединений и мочевины. Превращение азота в органические формы резко возрастает при запашке в почву органических веществ с низким содержанием азота (пожнивные растительные остатки, солома злаковых и селестый навоз) [2, 14].

Закрепившийся азот медленно минерализуется и слабо усваивается растениями, поэтому действие азотных удобрений в последствии незначительно – 2 – 3 % [2, 14].

Для закрепления нитратного азота в почве особое значение имеет биологическое его поглощение (микроорганизмами, растениями) [2, 14].

Нитраты могут вымываться из корнеобитаемого слоя осадками, дренажными водами [2, 14]. Из связных по гранулометрическому составу почв обычно вымывается с 1 га 3 – 5 кг, из легких, особенно если это пар, – до 20 – 30 кг.

В основном теряется газообразный азот. Потери азота из аммиачных удобрений составляют около 20 %, нитратных – до 30 % от внесенного.

Для снижения потерь азота почвы и удобрений из-за денитрификации и вымывания нитратов используются ингибиторы, которые тормозят нитрификацию и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме.

При поверхностном внесении твердых аммонийных удобрений и мочевины могут теряться и аммиачные формы азота. Однако при своевременной и правильной заделке удобрений в почву значительных потерь удастся избежать.

Азот в почве пополняется за счет органических и минеральных удобрений, биологического азота, азота атмосферных осадков, азота, поступившего с семенами. В настоящее время с органическими удобрениями в почву возвращается только 35 – 40 % азота, выносимого возделываемыми культурами.

Связывание молекулярного азота воздуха происходит двумя способами. Небольшое количество связанного азота образуется в атмосфере во время грозовых разрядов и в форме азотистой и азотной кислот поступает в почву с осадками (до 3 – 5 кг на 1 га) [2, 14].

Усвоение азота воздуха свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами почвы (азотобактер, клостридий), ризосферными микроорганизмами (ассоциативная азотфиксация), клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых.

Объемы биологического азота, продуцируемого свободноживущими микроорганизмами почвы, весьма значительны и в зависимости от количества органических удобрений и корневых и пожнивных остатков растений, почвенно-климатических условий могут составлять 15–50 кг/га и более.

Основная масса биологического азота остается в почве и включается в состав гумуса.

Высокие дозы минеральных удобрений (более 60 кг/га) резко снижают продуктивность свободноживущих микроорганизмов. Депрессия длится 2–2,5 месяцев после внесения удобрений, затем уровень азотфиксации восстанавливается. В почвах с высоким содержанием гумуса (больше 2,5%) депрессия не наблюдается.

Улучшить азотное питание небобовых культур (кукуруза, пшеница, ячмень, многолетние злаковые травы и др.) способны ассоциативные азотфиксаторы. Эти микроорганизмы размещаются в верхних слоях корневой системы растений и в благоприятных условиях могут обеспечить до 45 % потребности растений в азоте [20 14].

Оптимизируя свойства почвы и внося органические удобрения, продуктивность природной популяции ассоциативных азотфиксаторов

(без внесения их в виде бактериальных удобрений) можно повысить в 2–4 раза.

Значительно большее, чем ассоциативные азотфиксаторы, значение для пополнения почвы азотом имеют клубеньковые бактерии, живущие в симбиозе с бобовыми растениями. Интенсивность симбиотической азотфиксации зависит от вида и урожайности бобовых растений.

Примерно 1/3 связанного бобовыми азота остается в пожнивных и корневых остатках и после их минерализации может использоваться культурами, следующими в севообороте после бобовых [2, 14].

Процесс связывания молекулярного азота из атмосферы азотфиксирующими микроорганизмами выяснен еще не в полной мере. В настоящее время большинство исследователей придерживается мнения, что восстановительный путь фиксации молекулярного азота (через аммиак) при различных вариантах промежуточных этапов является наиболее обоснованным.

Основным ферментом, осуществляющим процесс азотфиксации является нитрогеназа. У бобовых культур нитрогеназа находится в клубеньковых бактериях, приобретающих внутри клубенька форму бактериоидов (рис. 3.3., 3.4.).

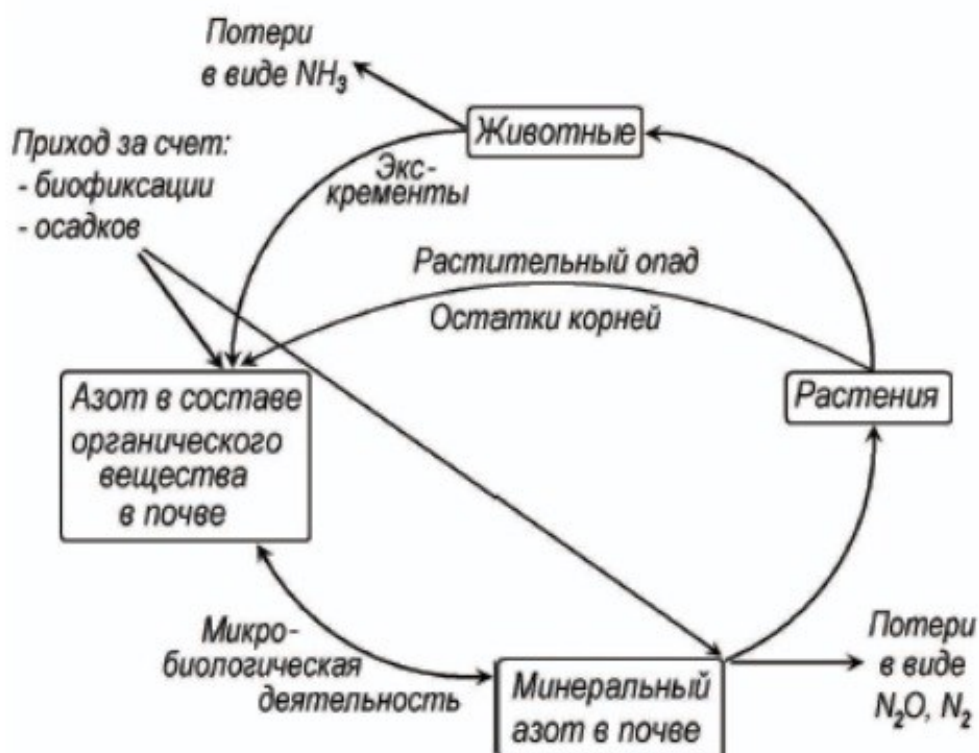


Рис. 3.3. Цикл азота в биосфере при естественном состоянии почвы

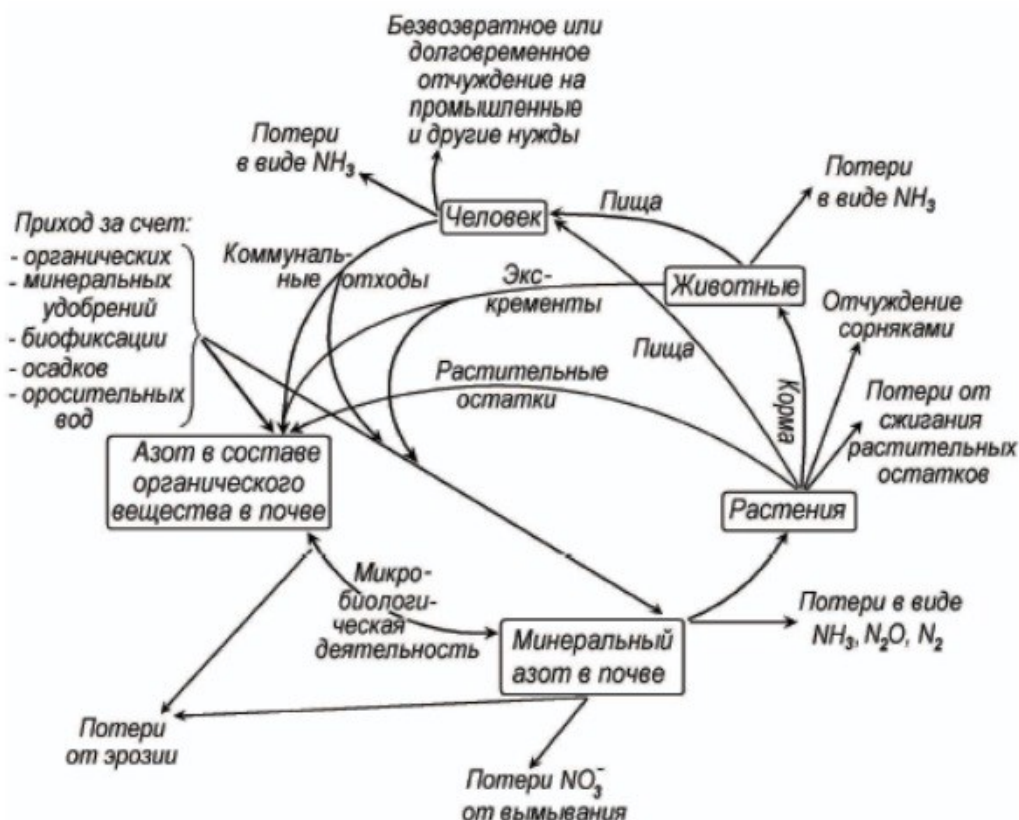


Рис. 3.4. Цикл азота в биосфере при интенсивной обработке почвы

У большинства микроорганизмов нитрогеназа инактивируется кислородом, причем Fe-белок более чувствителен к кислороду, чем Mo-Fe-белок. Для реакции восстановления азота необходимо наличие нитрогеназы, АТФ, источника электронов и ионов Mg^{2+} .

Процесс биологической фиксации азота сопряжен с гидролизом АТФ, при этом образуется АДФ с ионами магния. Большинство исследователей считают, что на фиксацию 1 молекулы азота затрачивается 15 молекул АТФ.

АТФ (аденозинтрифосфорная кислота) - это нуклеотид, образованный аденозином и соединёнными между собой тремя остатками ортофосфорной кислоты.

АТФ - основной внутриклеточный аккумулятор энергии. Она заключена в двух фосфоангидридных связях, соединяющих фосфатные остатки между собой.

Определенный вклад в обеспечение азотного питания сельскохозяйственных культур вносит несимбиотическая азотфиксация.

Суммарное поступление азота из всех источников не компенсирует выноса его урожаями сельскохозяйственных культур и потерь из почвы из-за вымывания и денитрификации. Поэтому для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышения качества продукции большое значение имеет внесение в почву минеральных азотных удобрений [2, 14].

Симптомы дефицита азота:

- Листья, стоящие к стеблю под острым углом вместе со стеблями и плодами, имеют меньшие размеры. Они становятся мелкими, узкими, суховатыми, бледно-зелеными или даже желтоватыми, позже бурыми отмирают и опадают.
- Стебель короткий, хрупкий и твердый, ветвление у двудольных и кущение у злаков слабое.
- Хлороз начинается со старых (нижних) листьев, а затем переходит на молодые (за счет реутилизации азота).
- Сначала желтеют жилки листа (в отличие от дефицита железа, где желтеют сначала пластинки) или его кончики. Завязи рано опадают.
- Корни длинные, боковые корешки развиты плохо

3.4. Классификация и особенности применения азотных удобрений

Азотные удобрения в зависимости от формы соединения азота подразделяют на 6 групп (рис. 3.5.):

1. Аммонийные - азот в соли представлен катионом аммония (NH_4^+), связанным с кислотным остатком.

Представителями этой группы являются [2, 14]:

- сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,
- сульфат аммония-натрия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$,
- хлористый аммоний NH_4Cl ,
- углекислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$;

2. Нитратные - азот находится в окисленной форме (NO_3^-) в виде солей азотной кислоты.

Представителями этой группы являются:

- натриевая селитра NaNO_3
- кальцевая селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
- магниевая селитра $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$;

3. Аммонийно-нитратные - азот находится в соли в аммонийной и нитратной формах.

Представителями этой группы являются:

- Аммонийная селитра (NH_4NO_3)
- Взавестково-аммонийная селитра ($\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$);

4. Амидные - азот в удобрении находится в амидной форме (NH_2^+).

Представителями этой группы являются - Карбамид или мочеина ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$);

5. Аммиачные - весь азот удобрений находится в виде свободного аммиака.

Представителями этой группы являются:

- NH_3 безводный или жидкий
- аммиачная вода $2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$;

6. Аммиакаты и азотные растворы - азот в удобрении представлен смешанными формами (аммонийно-аммиачно-нитратные, аммонийно-аммиачноамидно - нитратные).

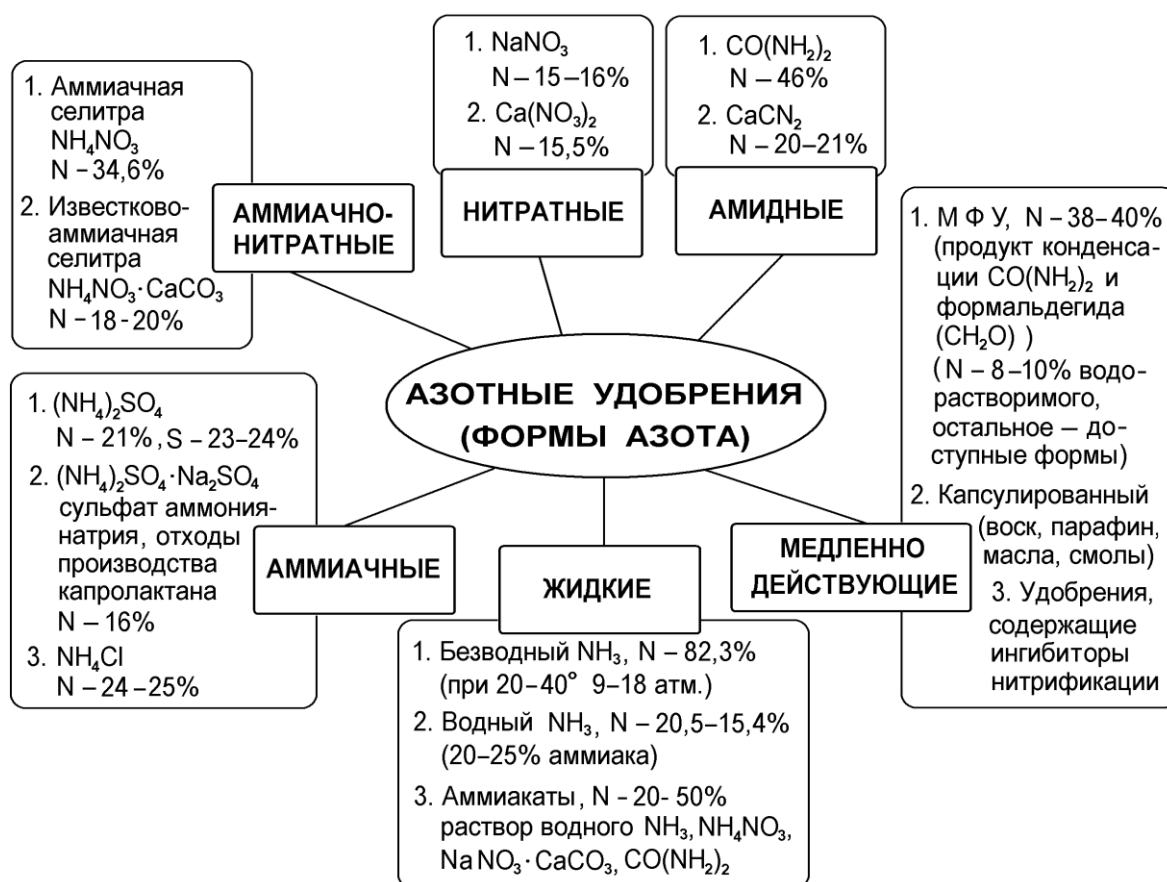


Рис.3.5. Азотные удобрения

Производство азотных удобрений основано на получении синтетического аммиака из молекулярного азота воздуха и водорода, источником которого служат природный газ, нефтяные и коксовые газы. Этот процесс требует больших энергозатрат. Чтобы произвести 1 т азота, необходимо затратить энергию, эквивалентную 4 т нефти [2, 14].

В слое воздуха 15 км над площадью 1 га содержится около 78 тыс. тонн молекулярного азота, т.е. запасы этого элемента практически не ограничены [2, 14].

Источником молекулярного азота является воздух.

Синтетический аммиак и азотная кислота являются основными исходными продуктами для производства как азотных, так и комплексных удобрений, содержащий азот (рис. 3.6.) [2, 14].

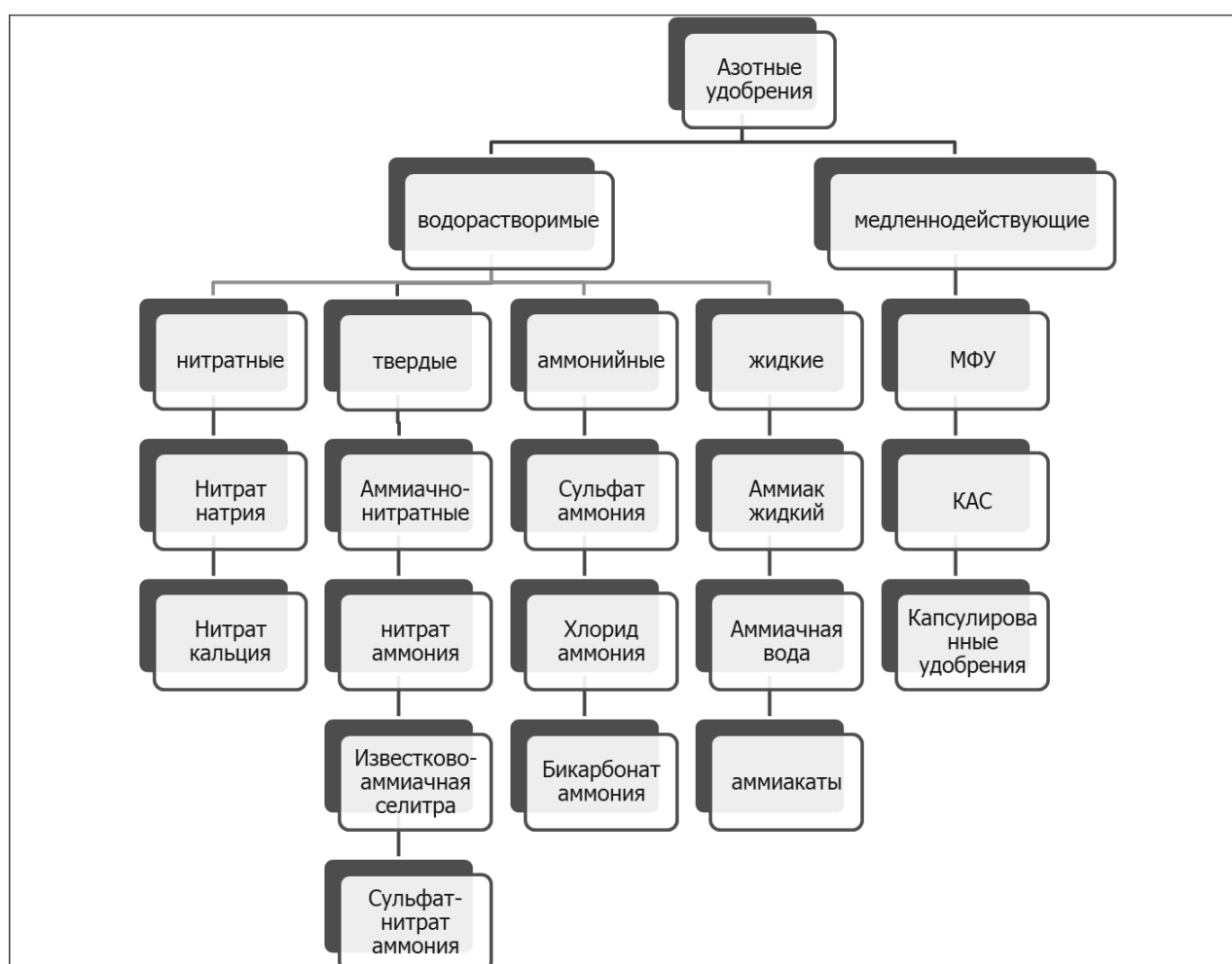


Рис.3.6. Азотные удобрения

3.5. Нитратные удобрения

Натриевая селитра NaNO_3 содержит 16% азота и 26% натрия. Она представляет собой мелкокристаллическую соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимую в воде. Гигроскопична и при неправильном хранении может слеживаться. В сухом состоянии хорошо рассеивается. Натриевая селитра является физиологически щелочным удобрением [2, 14].

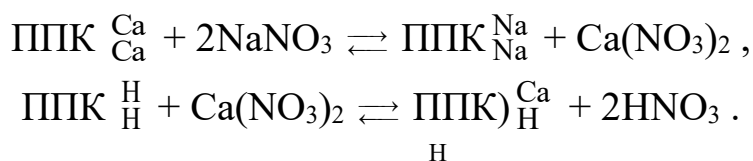
Кальциевая селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ содержит 13 – 15% азота. Получается при нейтрализации азотной кислоты известью, а также в качестве побочного продукта при производстве комплексных удобрений способом азотнокислотной переработки фосфатов [2, 14].

Кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает высокой гигроскопичностью и даже при нормальных условиях хранения сильно отсыревает и слеживается. Хранят и перевозят ее в специальной водонепроницаемой упаковке. Кальциевая селитра является физиологически щелочным удобрением [2, 14].

Механизм действия

Растения усваивают из них больше анионы NO_3^- , чем катионы Na^+ и Ca^{+2} , которые, оставаясь в почве, образуют основания и сдвигают реакцию почвенного раствора в сторону подщелачивания. В связи с этим нитратные удобрения весьма эффективны на кислых дерново-подзолистых почвах [2, 14].

В почве селитры быстро растворяются и вступают в обменные реакции с катионами почвенного поглощающего комплекса (ППК) [2, 14]:



Катионы Na^+ и Ca^{2+} поглощаются почвой, а анионы NO_3 остаются в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность [2, 14].

При внесении в почву нитратные удобрения сравнительно легко вымываются из пахотного слоя почвы, поэтому их применяют под предпосевную культивацию и для подкормки растений во время вегетации [2, 14].

Очень хорошо использовать нитратные удобрения для подкормки озимых, пропашных и других культур, а натриевую селитру – в рядки при посеве сахарной свеклы, кормовых и столовых корнеплодов, так как натрий усиливает отток углеводов из листьев в корни, повышая урожайность корнеплодов и содержание в них сахара [2, 14].

3.6. Аммонийные удобрения

К аммонийным удобрениям относятся [2, 14]:

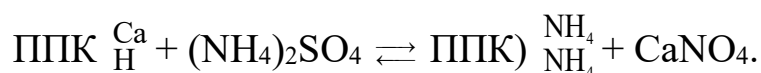
1. сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
2. хлористый аммоний NH_4Cl
3. углекислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Более широко из этих форм удобрений применяется сульфат аммония, который в ассортименте азотных удобрений в настоящее время занимает около 13% [2, 14].

Сульфат аммония, или сернокислый аммоний, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ получают улавливанием серной кислотой аммиака из газов, образующихся при коксовании каменного угля, или нейтрализацией синтетическим аммиаком отработанной серной кислоты на различных химических производствах. Большое количество сульфата аммония вырабатывают в качестве побочного продукта при производстве капролактама [2, 14].

Синтетический сульфат аммония белого цвета, а коксохимический из-за органических примесей имеет серую, синеватую или красноватую окраску. Удобрение содержит 20,5 – 21 % азота и 24 % серы. Малогигроскопичен, поэтому при нормальных условиях хранения почти не слеживается и сохраняет хорошую рассеиваемость [2, 14].

После внесения в почву сульфат аммония быстро растворяется в почвенной влаге и вступает в обменные реакции с ППК [2, 14]:



Поглощенный аммоний доступен для растений и хорошо закрепляется в почве. Поэтому сульфат аммония, как правило, вносят в качестве основного удобрения [2, 14].

Сульфат аммония физиологически кислое удобрение, так как растения быстрее и больше потребляют катионы NH_4^+ , чем анионы

SO_4^{2-} . SO_4^{2-} , соединяясь с водородом, образует серную кислоту, вызывая подкисление почвенного раствора [2, 14].

Для нейтрализации подкисляющего действия сульфата аммония требуется CaCO_3 . При систематическом применении этого удобрения, особенно на малобуферных дерново-подзолистых почвах, повышается кислотность, уменьшается степень насыщенности почв основаниями [2, 14].

В результате ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрений. Отрицательное влияние сульфата аммония устраняется известкованием кислых почв и хорошей заправкой органическими удобрениями [2, 14].

Аммоний хлористый (хлорид аммония) NH_4Cl – азотное удобрение, содержащее хлор (67 %) и азот (24–25 %) [2, 14]. Это его главный недостаток, поскольку это ограничивает его применение для хлорофобных культур. Внешне хлорид аммония – мелкокристаллический желтоватый или чисто белый порошок.

Обладает хорошей растворимостью. Удобрение малогигроскопичное, при хранении не слеживается. Высокая физиологическая кислотность и содержание хлора являются причиной основного использования хлорида аммония осенью под зяблевую вспашку. При таком внесении хлор будет вымыт из корневоступного слоя атмосферными осадками.

Аммония карбонат $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и бикарбонат аммония NH_4HCO_3 – углекислые соли аммония. Применяются в небольших количествах. Внешне – кристаллические вещества белого цвета. Карбонат аммония нестойк, при соприкосновении с воздухом выделяет аммиак и переходит в бикарбонат аммония.

Технический карбонат аммония, используемый в качестве удобрения, содержит 21–24 % азота и является смесью карбоната, бикарбоната и карбамата аммония. Бикарбонат аммония содержит 17 % азота, более стоек к воздействию кислорода воздуха, но потери аммиака при хранении и перевозке не исключаются.

При внесении его следует сразу заделывать в почву. Применяются в качестве основных удобрений. Бесхлорные аммонийные удобрения используют в качестве подкормок в течение вегетационного периода. Получают на основе химического взаимодействия аммиака с

различными веществами (серной кислотой, хлоридом натрия, диоксидом углерода и прочими).

Аммонийные удобрения применяют как минеральные удобрения для увеличения плодородия почвы и обеспечения растений необходимыми питательными веществами, в частности, азотом.

После внесения в почву аммонийные удобрения быстро растворяются в почвенном растворе, и ион NH_4 вступает в обменные реакции с ионами твердой фазы почвы. Значительная часть растворенных катионов аммония входит в почвенный поглощающий комплекс.

Вследствие этого в почвенный раствор вытесняется эквивалентное количество ионов. Вследствие этого процесса ион аммония теряет подвижность и хорошо усваивается растениями. Не все ионы аммония поглощаются растениями, оставшаяся часть в результате нитрификации переходит в нитратную форму.

Нитраты легко попадают в корневую систему растений путем биологического поглощения. Процесс нитрификации приводит к образованию в почве азотной кислоты и освобождению соляной и серной кислот.

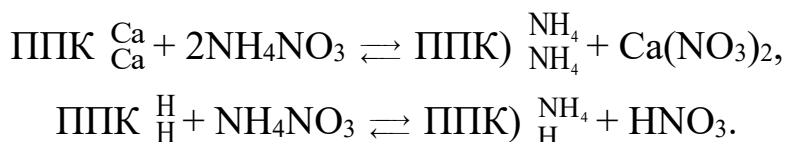
Бикарбонаты почвенного раствора и катионы ППК нейтрализуют образовавшиеся кислоты. В результате реакций нейтрализации происходит вытеснение оснований из ППК водородом. Это ослабляет буферную способность почв и приводит к повышению их кислотности.

3.7. Аммонийно-нитратные удобрения

Аммонийная селитра NH_4NO_3 содержит 34,5 – 35 % азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком. Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Выпускается в гранулированном виде, поэтому сохраняет хорошую сыпучесть и рассеиваемость [14] Взрывоопасна. Хранить ее необходимо в сухом помещении, оборудованном противопожарными средствами [2, 14].

В аммонийной селитре удачно сочетаются быстродействующий нитратный азот с менее подвижным аммонийным. Из раствора NH_4NO_3 растения быстрее поглощают катион NH_4^+ , чем анион NO_3^- , поэтому аммонийная селитра физиологически кислое удобрение, однако подкисляющее действие ее на почву выражено слабее, чем сульфата аммония [2, 14].

В почве аммонийная селитра взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом, катион NH_4^+ хорошо поглощается почвой, а анион, NO_3^- остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность [2, 14]:



На почвах, насыщенных основаниями, в растворе образуются азотнокислые соли кальция (или магния) и почвенный раствор не подкисляется даже при систематическом внесении удобрения. Для этих почв аммонийная селитра – одно из лучших азотных удобрений [2, 14].

Для повышения эффективности аммонийной селитры на кислых почвах большое значение имеет их известкование. После известкования аммонийная селитра пригодна для разных типов почв и под все культуры севооборота, но наиболее эффективно использовать ее для весенних поверхностных подкормок зерновых культур, сенокосов и пастбищ. Можно применять ее и для подкормки пропашных, овощных, плодовых и ягодных культур с обязательной заделкой в почву [2, 14].

Под яровые аммонийную селитру в виде основного удобрения вносят весной под предпосевную культивацию во избежание потерь азота от вымывания [2, 14].

Универсальные свойства аммонийной селитры позволяют широко дифференцировать нормы, сроки и способы ее применения в зависимости от свойств почвы, погодно-климатических условий и особенностей возделываемых культур [2, 14].

3.8. Амидные удобрения

Мочевина (карбамид) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ содержит 46 % азота и является самым концентрированным из твердых азотных удобрений. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлении и температуре [2, 14]:



Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Гигроскопичность кристаллической мочевины при температуре до 20°C сравнительно небольшая, но с повышением температуры заметно увеличивается и при хранении может слеживаться [2, 14].

Поэтому для улучшения физических свойств в настоящее время мочевины выпускается в гранулированном виде с содержанием биурета не более 1 %, который в таких концентрациях не оказывает вредного влияния на растения [2, 14].

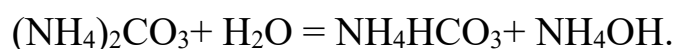
В почве мочевины полностью растворяется почвенной влагой и под влиянием удобрений, выделяющих фермент уреазу, за два-три дня аммонифицируется и превращается в углекислый аммоний [2, 14]:



Углекислый аммоний – соединение непрочное, на воздухе разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака [2, 14]:



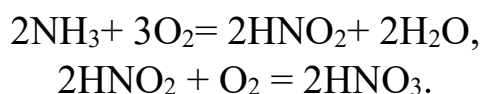
Поэтому при внесении мочевины без заделки в почву и отсутствии осадков часть азота в виде аммиака может теряться. Эти потери больше на почвах с нейтральной и щелочной реакциями. В почве углекислый аммоний подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония и гидроксида аммония NH_4OH [2, 14]:



Образующийся при внесении мочевины в почву аммоний поглощается ее коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями [2, 14].

Мочевина может поглощаться корнями, а также листьями растений без предварительного превращения в углекислый аммоний. Однако пока мочевины не подверглась аммонификации, она может вымываться из почвы [2, 14].

По мере аммонификации мочевины возможно временное локальное подщелачивание почвы из-за гидролиза углекислого аммония. С течением времени аммоний подвергается нитрификации, образуя азотную кислоту и сдвигая реакцию в сторону подкисления [2, 14]:



Мочевина является биологически кислым удобрением. Однако после усвоения азота мочевины растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислых остатков. Поэтому она является физиологически нейтральным удобрением [2, 14].

Мочевина оказывает примерно такое же действие на урожай сельскохозяйственных культур, как и аммонийная селитра, но лучший эффект дает при непосредственной заделке в почву [2, 14].

Поверхностные подкормки озимых культур, лугов и пастбищ мочевиной менее эффективны по сравнению с аммонийной селитрой из-за потерь аммиака, а также более медленного действия мочевины, чем аммонийной селитры. Однако при внесении мочевины в подкормки по влажной почве потери азота значительно снижаются [2, 14].

3.9. Аммиачные удобрения

К жидким аммиачным удобрениям относятся [2, 14]:

- безводный аммиак NH_3
- аммиачная вода NH_4OH

Безводный аммиак NH_3 является самым концентрированным и самым дешевым удобрением, содержит 82,3% азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением [2, 14].

Бесцветная, подвижная жидкость, плотность 0,61 г/см³ при 20°C, температура кипения 34°C.

При хранении в открытых сосудах NH_3 быстро испаряется. Безводный аммиак обладает высокой упругостью паров, поэтому его хранят и транспортируют в стальных цистернах, выдерживающих высокое давление (30 – 32 атм). Безводный аммиак хорошо используется растениями и по эффективности не уступает твердым азотным удобрениям. Аммиак поглощается почвой и не вымывается, поэтому его можно вносить осенью или весной [2, 14].

Внесенный в почву безводный аммиак превращается из жидкости в газ, который адсорбируется коллоидной фракцией и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний образует различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой частью почвы. Одновременно с физико-химическими превращениями аммиак подвергается нитрификации [2, 14].

Скорость и степень поглощения аммиака почвой зависит от содержания в ней гумуса, гранулометрического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки удобрения. На более связных, богатых органическим веществом, хорошо обработанных и нормально увлажненных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных гумусом [2, 14].

В песчаных и супесчаных почвах образование аммонийных солей из аммиака и адсорбция иона аммония происходят медленнее, чем в суглинистых почвах. В связи с этим на легких почвах удобрение продолжительное время сохраняется в виде NH_3 и может улетучиваться.

Из влажной почвы аммиак улетучивается меньше, чем из сухой. В течение 12 – 15 дней после внесения аммиак подщелачивает, а затем (после перехода его в нитраты) подкисляет почву [2, 14].

Водный аммиак, или аммиачная вода, содержит 20,5% азота в форме NH_3 и NH_4OH , причем аммиака содержится значительно больше, чем аммония. Этим и обусловлена возможность потерь азота вследствие улетучивания аммиака при перевозке, хранении и внесении. Поэтому хранят и транспортируют аммиачную воду в стальных герметичных цистернах [2, 14].

Во избежание потерь аммиака аммиачную воду заделывают на глубину 10 – 12 см на суглинистых и 14 – 18 см на супесчаных почвах. На связных почвах аммиачную воду, как и безводный аммиак, можно вносить осенью в качестве основного удобрения практически под все культуры при температуре почвы ниже $+10^\circ\text{C}$, а также весной перед севом. На почвах легкого гранулометрического состава эти удобрения желательно вносить весной [2, 14].

Аммиачная вода, как и безводный аммиак, подкисляет почву.

Наиболее эффективно внесение этих удобрений вместе с органическими. Нельзя вносить аммиачные удобрения на одном участке несколько лет подряд, так как они усиливают минерализацию органического вещества, что может привести к снижению содержания последнего в почве. Безводный аммиак и аммиачная вода в настоящее время не применяются, так как сняты с производства [2, 14].

3.10. Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения (КАС)

Жидкое азотное удобрение К А С (карбамид – аммонийная селитра) $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ – представляет собой водный раствор карбамида и аммиачной селитры ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$).

Себестоимость единицы азота в КАС ниже, чем в твердых азотных удобрениях из-за исключения дорогостоящих и энергоемких операций доупаривания, гранулирования и концентрирования. В качестве противокоррозионного агента в КАС вводят небольшие количества фосфатов [2, 14].

Выпускается три марки КАС с содержанием 28, 30 или 32 % азота. В отличие от жидких аммиачных удобрений КАС практически не содержит свободного аммиака, его можно вносить с помощью высокопроизводительных наземных агрегатов без одновременной заделки в почву, а также с помощью авиации и с поливной водой. КАС с ингибитором коррозии можно перевозить в обычных железнодорожных цистернах и автоцистернах [2, 14].

Низкая температура кристаллизации и замерзания дает возможность транспортировать и хранить КАС круглогодично в заглубленных в почву естественно утепленных хранилищах из бетона и асфальта с внутренним пленочным покрытием из армированного стекла или мягкой ткани [2, 14].

КАС применяют для основного внесения и подкормок. Удобрение имеет высокую плотность, что позволяет значительно сократить затраты на транспортировку и хранение. КАС можно применять под все культуры, но наиболее целесообразно под зерновые.

КАС можно заделывать под вспашку или культивацию, применять его и по вегетирующим растениям в виде некорневой подкормки.

Попадая на листовую поверхность, мочевины, КАС непосредственно используется зерновыми для синтеза белков. При применении в период цветения и колошения они увеличивают содержание белка на 1 – 2 % [2, 14].

Мочевина, будучи физиологически активным веществом, активизирует процессы обмена азота, в частности образование сульфгидридных групп (метионин, цистеин). Аминокислоты, содержащие SH-группы, играют большую роль в процессах обмена веществ, роста и закладки репродуктивных органов [2, 14].

Питательные элементы могут проникать в надземные органы (большей частью через листья) различными способами, и скорость их

поступления и усвоения зависит от морфологических особенностей их строения [2, 14].

Наружная сторона кутикулы многих листьев покрыта мельчайшими, видимыми только в микроскоп восковыми выростами, которые выступают на поверхность листа. Под слоем восковых веществ находится кутикула, которая после увлажнения набухает, и промежуточные пространства между пластинками из воска расширяются [2, 14].

Питательные элементы через кутикулу проникают в клетки эпидермиса и через них непосредственно в цитоплазму, где под действием осмотического давления усваиваются или направляются в другие клетки. Кроме того, питательные элементы могут проникать через устьица, но лишь в том случае, если смачивающий раствор снижает поверхностное натяжение [2, 14].

Кроме морфологических особенностей листьев скорость поступления и усвоения элементов питания зависит также от особенностей элементов питания.

По подвижности элементы подразделяются на четыре группы:

1. высокоподвижные – азот и калий;
2. подвижные – фосфор и сера;
3. частично подвижные – Cu, Zn, Mn, Mo, Fe ;
4. неподвижные – B, Mg, Ca.

Поглощение и усвоение элемента зависит также от обводненности тканей растений (у завядших растений оно ослабевается).

Поглощение азота ночью идет медленнее, чем днем, поэтому наиболее приемлемым временем для обработок являются вечерние часы. В дождливую погоду проницаемость верхней стороны листа увеличивается и дозы КАС снижают [2, 14].

Использование КАС в сельском хозяйстве имеет несомненные преимущества перед твердыми удобрениями [2, 14]:

1. обеспечивается полная механизация всех погрузочно-разгрузочных работ,
2. резко уменьшаются затраты на производство и применение,
3. осуществляется более точная дозировка при низких дозах удобрений,
4. происходит быстрое поглощение азота через листья,
5. улучшаются условия труда,
6. исключается расход тары

7. снижается проблема слеживаемости,
8. обеспечивается высокая равномерность внесения,
9. упрощается приготовление необходимых тукосмесей, в том числе с добавкой фосфора, калия, микроэлементов и пестицидов,
10. усиливается действие пестицидов при внесении их в КАС.

3.11. Способы повышения эффективности азотных удобрений

Применение азотных удобрений имеет решающее значение в повышении урожайности сельскохозяйственных культур на большинстве почв. Существует ряд способов повышения эффективности азотных удобрений. Это, в первую очередь, улучшение культуры земледелия, создание для растений таких агротехнических условий, которые позволили бы им максимально проявить свои генетически заложенные возможности в формировании урожая высокого качества [2, 14].

Особенно эффективны азотные удобрения в условиях хорошей влагообеспеченности на бедных гумусом дерново-подзолистых почвах.

Азотные удобрения не только повышают урожай, но и улучшают его качество, увеличивая содержание белка в зерне и кормовых продуктах.

Большое значение в повышении эффективности азотных удобрений имеет оптимальное соотношение питательных элементов в применяемых удобрениях, выбор лучших форм, сроков и способов внесения азотных удобрений. Одностороннее внесение высоких доз азотных удобрений приводит к сильному развитию надземной массы растений, их полеганию и резкому снижению урожая и его качества [2, 14].

Формы азотных удобрений должны выбираться с учетом свойств почв и биологических особенностей сельскохозяйственных культур. При определении сроков и способов внесения азотных удобрений должны также учитываться их свойства, особенности почвы и сельскохозяйственных культур, предшественники, нормы вносимых органических и минеральных удобрений [2, 14].

Важными факторами повышения эффективности азотных удобрений являются: совместное их внесение с органическими удобрениями, известкование кислых почв, применение ингибиторов нитрификации, медленнодействующих удобрений, правильная обработка почвы, мероприятия по уходу за растениями в период вегетации, борьба с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур и др. [2, 14].

Контрольные вопросы

1. В какие приемы вносится карбамид?
2. В каких формах содержится азот в почве?
3. В каких формах содержится азот в растениях?
4. В какой форме азот усваивается растениями?
5. В какой форме производится КАС?
6. К какой группе азотных удобрений относится сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$?
7. Какая группа азотных удобрений подвержена максимальному вымыванию?
8. Какие азотные удобрения применяются в некорневую подкормку?
9. Какие вещества используются для производства аммиака?
10. Какое азотное удобрение содержит регулятор роста растений?
11. Какой показатель почвенного плодородия отражает содержание азота в почве?
12. Какой процесс приводит к газообразным потерям азота из почвы?
13. Кому принадлежит высказывание, что «аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ в растениях»?
14. При каких погодных условиях КАС не применяется в некорневую подкормку?
15. Укажите амидное азотное удобрение:
16. Укажите в какой прием вносятся азотные удобрения на лугопастбищных угодьях?
17. Укажите какие основные условия следует соблюдать при внесении КАС в некорневую подкормку растений:
18. Укажите медленнодействующее азотное удобрение:
19. Укажите основные статьи потерь азота из внесенных в почву азотных удобрений.
20. Укажите по какому признаку и на сколько групп классифицируются азотные удобрения:
21. Укажите под какую обработку почвы вносят азотные удобрения в основной прием.
22. Укажите последствия избыточного азотного питания:
23. Укажите содержание азота в аммиачной селитре, %:
24. Укажите содержание азота в КАС.
25. Укажите содержание азота в сульфате аммония, %:
26. Укажите содержание действующего вещества (азота) в мочеvine (карбамиде)
27. Укажите химическую формулу сульфата аммония:
28. Что такое аммонификация?
29. Что такое денитрификация?
30. Что такое нитрификация?

Глава 4. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

4.1. Фосфор и его роль в питании растений

Фосфор – один из трех главных элементов питания растений. По объемам использования в качестве удобрительного элемента он идет вслед за азотом. Это важнейший биогенный элемент, необходимый для жизнедеятельности всех организмов.

Содержание фосфора в сухой биомассе растений- от 0,2 до 1,2%.

Роль в жизни растений:

- Стимулирует формирование мощной корневой системы;
- Входит в состав нуклеиновых кислот;
- Участвует в синтезе белка, крахмала, жиров;
- Участвует в формировании клеточных мембран и регулирует их проницаемость для различных веществ;
- Участвует в процессах дыхания, углеводном, азотном обменах, в процессах фотосинтеза, когда энергия солнечного света преобразуется в энергию фосфатных связей. АТФ-основной источник энергии для процессов в растении;
- Усиливает энергию прорастания семян.

Роль фосфора в почве:

Фосфор-один из самых неоднозначных элементов, количество доступного фосфора составляет всего 10-20% от общих запасов в почве. Все дело в том, что фосфор фиксируется (химически закрепляется) в почве с различными ионами, что снижает его растворимость и доступность для растений. В кислых почвах образуются фосфаты железа и алюминия, в щелочных- фосфаты кальция и магния

Соединения фосфора с кислородом (фосфорные кислоты и фосфаты), являясь самыми распространенными в природе, имеют исключительно важное значение для существования и развития растительного и животного мира. Без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка. В связи с этим фосфор называли «ключом жизни» [2, 14].

Фосфор образует несколько аллотропных форм:

- Белый фосфор P_4 ,
- Красный фосфор P_n
- Черный фосфор P .

При определенных условиях все три формы могут переходить друг в друга. Наибольшей химической активностью обладает белый фосфор. Красный фосфор используется в спичечном производстве. Однако красный элементарный фосфор перспективен в качестве удобрения. При добавлении к нему солей меди он окисляется в почве и переходит в доступное состояние.

Фосфор содержится в растениях в органических (обычно до 90% общего количества) и минеральных соединениях. Соотношение органических и минеральных соединений фосфора зависит от возраста растений и общей обеспеченности их фосфором.

В молодых растениях доля органического фосфора всегда значительно больше, чем в старых. Однако при обильном обеспечении почв фосфором доля неорганических фосфатов в более старых листьях может оказаться даже выше.

В репродуктивных органах фосфора концентрируется в 3–6 раз больше, чем в вегетативных. Семена должны иметь запас фосфора, достаточный на период формирования корней, которые начнут поглощать его из почвы [2, 14].

Фосфор играет исключительно важную роль в жизнедеятельности растений. Он содержится в клеточной протоплазме, входит в состав хромосом, нуклеиновых кислот, фосфопротеидов, некоторых витаминов, ферментов, эфиров, фитина, других органических веществ и принимает активное участие в образовании белковых веществ [2, 14].

В процессах дыхания и брожения одну из центральных функций выполняет фосфорная кислота, являющаяся буфером при регуляции обмена углеводов.

Частично в живых клетках фосфор присутствует в виде орто- и пирофосфорных кислот, и их производных. Фосфатная группа обладает важными связывающими свойствами и способна принимать участие в сильных (электростатических) связывающих взаимодействиях с катионами металлов и аминов.

Фосфор легко образует ряд ковалентных соединений – от простых эфиров (триметил- или триэтилфосфат) до сложных макромолекул дезоксирибонуклеиновой (ДНК) и рибонуклеиновой (РНК) кислот, которые являются составной частью биологических регуляторных молекул. Фосфор является обязательным компонентом ряда коферментных систем, катализирующих ряд реакций азотного обмена [2, 14].

Важными органическими фосфорсодержащими соединениями в растениях являются нуклеиновые кислоты, играющие большую роль в наследственной функции организма. Это сложные высокомолекулярные вещества, состоящие из азотистых оснований, молекулы углеводов (рибозы или дезоксирибозы) и фосфорной кислоты [2, 14].

В растениях на долю нуклеиновых кислот приходится от 0,1 до 1 %, а на долю фосфора в нуклеиновых кислотах (в пересчете на P_2O_5) около 20 %. Высоким содержанием нуклеиновых кислот отличаются зародыши семян, пыльца, кончики корней [2, 14].

Нуклеиновые кислоты участвуют в синтезе белков, процессах роста и размножения, передаче наследственных свойств, влияют на процессы дыхания, образования ряда ферментов. РНК играет роль «матрицы», на которую последовательно укладываются молекулы аминокислот, образующие специфический для данного организма белок. ДНК, входящая в состав хромосомного аппарата ядра, ответственна за передачу наследственных свойств и накопленной биологической информации, благодаря которой в определенном порядке и последовательности соединяются аминокислоты, образующие различные белки.

Огромную роль в обмене веществ играют макроэргические соединения, содержащие богатые энергией связи. Известно множество макроэргических соединений и в большинство из них входит фосфор. Среди них особое место занимает аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) – своеобразный хранитель и носитель энергии во многих синтетических процессах [2, 14].

При гидролизе АТФ, входящей в состав РНК, высвобождается около 55 кДж/моль, в то время как гидролиз обычных связей дает 8–12 кДж/моль [2, 14].

Макроэргические фосфатные связи принимают участие в процессах фотосинтеза, дыхания, биосинтеза белков, жиров, крахмала, сахарозы, ряда аминокислот, других соединений [2, 14].

Соединения фосфора с белковыми веществами – фосфопротеиды – катализируют течение биохимических реакций.

Сахарофосфаты-эфиры – производные простых сахаров и фосфорной кислоты – вследствие своей мобильности играют большую роль в процессах фотосинтеза, дыхания. Их содержание изменяется в

зависимости от возраста растений, условий питания и других факторов от 0,1 до 1% от сухой массы.

При участии фосфора происходит углеводный обмен в растениях. Превращение углеводов начинается с присоединения фосфорной кислоты к молекулам углеводов или с ее отщепления, т.е. с процессов фосфорилирования и де- фосфорилирования. Самый распространенный фосфорный эфир – глюкозо-6-фосфат. Он синтезируется в растениях путем переноса фосфорной кислоты с АТФ на глюкозу. Одновременно при этом образуется АДФ.

Фосфорилированные сахара играют важную роль в процессах дыхания и гликолиза (окисления углеводов до пировиноградной кислоты). Фосфорилирование происходит уже в самом начале фотосинтеза, как только на листья попадает свет. Принципиальное значение имеет перевод световой энергии в химическую путем образования АТФ в световой реакции фотосинтеза.

Фосфорная кислота принимает активное участие в биосинтезе сахарозы, в ферментативных превращениях форм углеводов, передвижений углеводов (в клубни картофеля, корни сахарной свеклы и т.д.) [2, 14].

В связи с этим фосфорные удобрения положительно влияют на [2, 14]:

- накопление в растениях крахмала,
- накопление в растениях сахаров,
- накопление в растениях других углеводов.

Фосфор также благоприятствует накоплению в плодах красящих и ароматических веществ, улучшает их лежкость.

Важную биологическую роль выполняют в растениях фосфатиды, или фосфолипиды. Это сложные эфиры глицерина, жирных кислот и фосфорной кислоты. Они входят в состав фосфолипидных мембран, которые регулируют проницаемость клеток органелл и плазмолеммы для различных веществ. Более богаты фосфатидами семена бобовых и масличных культур.

Представителем группы жироподобных веществ фосфатидов является лецитин – производное диглицеридфосфорной кислоты. Лецитин встречается в цитоплазме всех деятельных клеток, но накапливается преимущественно в семенах.

Фитин – производная циклического соединения шестиатомного спирта инозита – является кальциевомагниево-инозитфосфорной кислоты. Он содержится во всех частях и тканях растений, но откладывается главным образом в семенах и используется как источник фосфора при прорастании семени.

Особенно чувствительны растения к недостатку фосфора в начальных фазах роста и развития, когда корневая система еще недостаточно развилась. Большие запасы фосфора в семенах способствуют хорошему росту растений в первый период жизни за счет распада веществ семени и передвижению продуктов распада в растущие части.

Оптимальное фосфорное питание способствует развитию корневой системы: корни глубже проникают в почву и больше ветвятся, благодаря чему улучшается снабжение растений влагой и питательными веществами [2, 14].

Фосфор способствует более экономному расходованию влаги, что особенно важно в засушливые периоды. Хорошее фосфорное питание улучшает перезимовку озимых культур, благодаря достаточному накоплению сахаров в узлах кущения с осени [2, 14].

Отрицательные последствия недостатка фосфора в ранний период не могут быть исправлены впоследствии даже при обильном фосфорном питании. Растения остаются низкорослыми, замедляется их развитие, они позднее цветут и созревают. Это связано с тем, что клетки не могут делиться, если фосфора или других элементов недостаточно для образования дополнительного ядра.

Таким образом, в отличие от растений, испытывающих недостаток азота и имеющих поэтому «сокращенный» цикл развития, растения при недостатке фосфора «физиологически более молоды».

Во время образования и, особенно, созревания репродуктивных органов у всех культур происходит передвижение фосфора из вегетативных органов в репродуктивные. Достаточное снабжение растений фосфором в период формирования репродуктивных органов ускоряет образование и созревание репродуктивных органов.

При нормальном фосфорном питании изменяется структура урожая в сторону увеличения наиболее ценной репродуктивной части: у зерновых культур возрастает доля зерна в массе биологического урожая, у корнеплодов – корнеплодов и т.д.

Большую роль в жизни растений играют минеральные соединения фосфора:

- аммониевые
- калийные,
- кальциевые,
- магниевые,
- другие соли ортофосфорной кислоты.

Минеральный фосфор является не только резервом для синтеза органических фосфорсодержащих соединений, но и повышает буферность клеточного сока, поддерживает тургор и другие жизненно важные процессы в клетке. Усиливая способность растительных клеток удерживать воду, фосфор тем самым повышает устойчивость растений к засухам и низким температурам [2, 14].

Уровень снабжения растения фосфором зависит не только от его содержания в почве, но и от обеспеченности почвы другими элементами. Так, при недостатке цинка снижается поступление и использование растениями фосфора; высокое содержание в почве меди, наоборот, снижает потребность растений в фосфоре [2, 14].

Фосфор ослабляет вредное влияние на растения подвижного алюминия на кислых почвах. Подвижные формы алюминия отрицательно влияют на обмен веществ, подавляют образование фосфатидов, тормозят превращение моносахаридов в сахарозу и более сложные органические соединения, задерживают образование белков.

Фосфор, связывая подвижный алюминий почвы, фиксирует его в корневой системе, тем самым улучшается углеводный и азотистый обмен в растениях [2, 14].

Фосфор легко передвигается внутри растения и из более старых листьев и тканей может поступать к зонам роста, т.е. реутилизироваться.

Реутилизация - это повторное, иногда многократное использование растением поглощённых корнями минеральных веществ.

Вещества в растении постоянно перераспределяются, передвигаясь из закончивших рост органов в молодые, где они вновь ассимилируются.

Особенно интенсивна реутилизация минеральных веществ, накопленных в листьях, при созревании плодов и семян. У многолет-

них растений ко времени листопада часть минеральных веществ отводится из листьев в стебли и корни; весной эти вещества расходуются на обеспечение роста молодых побегов. Способность растений к Р. того или иного элемента обнаруживается при исключении одного из элементов из питательной смеси.

Внешними признаками недостатка фосфора являются скручивание краев листьев, их более темная, грязно-зеленая окраска. Это связано с тем, что рост листьев при недостатке хлорофилла задерживается сильнее, чем образование хлорофилла. Однако при избытке азота растения также имеют темно-зеленую окраску из-за большого содержания хлорофилла [2, 14].

При недостатке фосфора, кроме того, вследствие образования антоциана нередко появляются красноватые и фиолетовые тона, прежде всего на основных стеблях, влагалищах листьев и черенках. Сильнее признаки недостатка фосфора проявляются у старых и нижних листьев [2, 14].

Избыток фосфора также неблагоприятен для растений. В этом случае они содержат много фосфора в минеральной форме, особенно в вегетативных органах, преждевременно созревают и не успевают синтезировать хороший урожай. При избытке фосфора ухудшается питание цинком, что приводит к заболеванию плодовых культур розеточностью [2, 14].

Существует тесная связь между азотным и фосфорным питанием. Фосфор выступает в роли спутника азота и белковых соединений, в растениях его содержится в два-три раза меньше, чем азота [2, 14].

При недостатке фосфора замедляется синтез белков, накапливается больше нитратов. Поэтому дозы азотных и фосфорных удобрений должны быть сбалансированными, особенно при внесении высоких доз азота [2, 14].

Большое значение имеет фосфор в жизни человека и для сельскохозяйственных животных. Он входит в состав костной ткани и незаменим в процессах, от которых зависят основные жизненные функции (обмен веществ, размножение и т.д.). При недостатке фосфора у человека и животных развивается остеопороз и другие заболевания костей. Суточная потребность человека в фосфоре – 1–1,5 г [2, 14].

Существует достоверная связь между содержанием фосфора в кормах и продуктивностью животных. Причем введение в рацион скота кормовых фосфатов не может полностью компенсировать дефицит фосфора. Он должен в достатке содержаться в натуральных кормах, а значит, и в почве под посевами кормовых культур. Оптимальное содержание фосфора в кормах – 0,35–0,5 % сухого вещества [2, 14].

Факторы риска дефицита:

- Почвы с высокой кислотностью или щелочностью;
- Низкое содержание органического вещества;
- Избыток K, Zn, Al, Fe, Mn, Cl, NO₃, Ca, Mg;
- Почвы тяжелого гран. Состава;
- Низкие температуры почвы и воздуха;
- Засуха;
- Недостаток кислорода (избыточное увлажнение);
- Внесение высоких доз азотных и калийных удобрений при низком содержании фосфора в почве.

Симптомы дефицита

- Проявляется сначала на нижних, более старых листьях, потом переходит на молодые
- Замедляется прирост биомассы листья приобретают сначала на жилках, а потом по всей поверхности сизо-зеленую (серо-зеленую), пурпурную или красно-фиолетовую окраску
- Наблюдается малый размер молодых листьев. Образование на листьях фиолетовых, красноватых, бурых пятен, с последующим отмиранием пораженных тканей.
- Корневая система плохо развита, малоразветвленная. В кислых почвах нижняя часть корня обесцвечивается и высыхает/

4.2. Биогеохимический цикл фосфора

Круговорот фосфора в природе сильно отличается от биогеохимических циклов углерода, кислорода, азота и серы, так как газовая форма соединений фосфора практически не участвует в биогеохимическом цикле фосфора. То есть фосфор к накоплению в атмосфере вообще не способен. Поэтому роль «резервуара» фосфора, из которого этот элемент извлекается и используется в биологическом круговороте, так же как и для серы, играет литосфера.

Фосфор в литосфере содержится в форме фосфатных соединений (солей фосфорной кислоты). Основная доля среди них приходится на фосфат кальция – апатит. Это полигенный минерал, образующийся в различных природных процессах – как в глубинных, так и в гипергенных (в том числе и биогенных). Фосфатные соединения способны растворяться в воде, и фосфор в составе иона PO_4^{3-} может мигрировать в водных растворах. Из них фосфор и усваивается растениями.

Индекс биогенного обогащения почв по отношению к земной коре, а растений по отношению к почвам составляет для фосфора, так же, как и для азота 1000 и 10000 соответственно.

Для растений наиболее доступным является фосфор неспецифических органических соединений и гумуса, и именно он играет главную роль в малом (локальном) биологическом цикле фосфора.

Животные являются еще большими концентраторами фосфора, чем растения. Многие из них накапливают фосфор в составе тканей мозга, скелета, панцирей.

Есть несколько способов усвоения фосфора организмами-консументами.

1. прямое усвоение из растений в процессе питания.
2. водные организмы-фильтраторы извлекают фосфор из органических взвесей.
3. органические соединения фосфора усваиваются организмами-илоедами при переработке ими биогенных илов.

Возврат фосфора в окружающую среду происходит при разложении органического вещества. Но возврат этот оказывается далеко не полным.

В целом для соединений фосфора характерна тенденция выноса в форме водных растворов и взвесей в конечные водоёмы стока, в наибольшей мере – в Мировой Океан, где он и накапливается в составе осадочных отложений различного генезиса.

Вновь вернуться в экзогенный круговорот эта часть фосфора может только в результате тектонических процессов, растягивающихся на сотни миллионов лет. В естественных условиях сохранение баланса обеспечивается сравнительно слабой подвижностью соединений фосфора, в результате которой фосфор, извлечённый растениями из почвы, большей частью возвращается в неё в результате разложения органического вещества.

В почвах и породах фосфор достаточно легко фиксируется. Фиксаторами фосфора являются гидроксиды железа, марганца, алюминия, глинистые минералы (особенно, минералы группы каолинита). Однако, фиксированный фосфор может быть на 40-50% десорбирован и использован растениями. Этот процесс зависит от pH и Eh условий среды.

Повышенная кислотность, образование угольной кислоты, способствуют десорбции фосфора, усилению миграции фосфорных соединений.

В восстановительной среде образуются соединения фосфора с двухвалентным железом, что тоже способствует выносу фосфора из почвы.

Миграция фосфора возможна и за счет водной и ветровой эрозии. Поэтому биогеохимический цикл фосфора значительно менее замкнут и менее обратим, чем циклы углерода и азота, а загрязнение фосфором окружающей среды особенно опасно (рис. 4.1.).

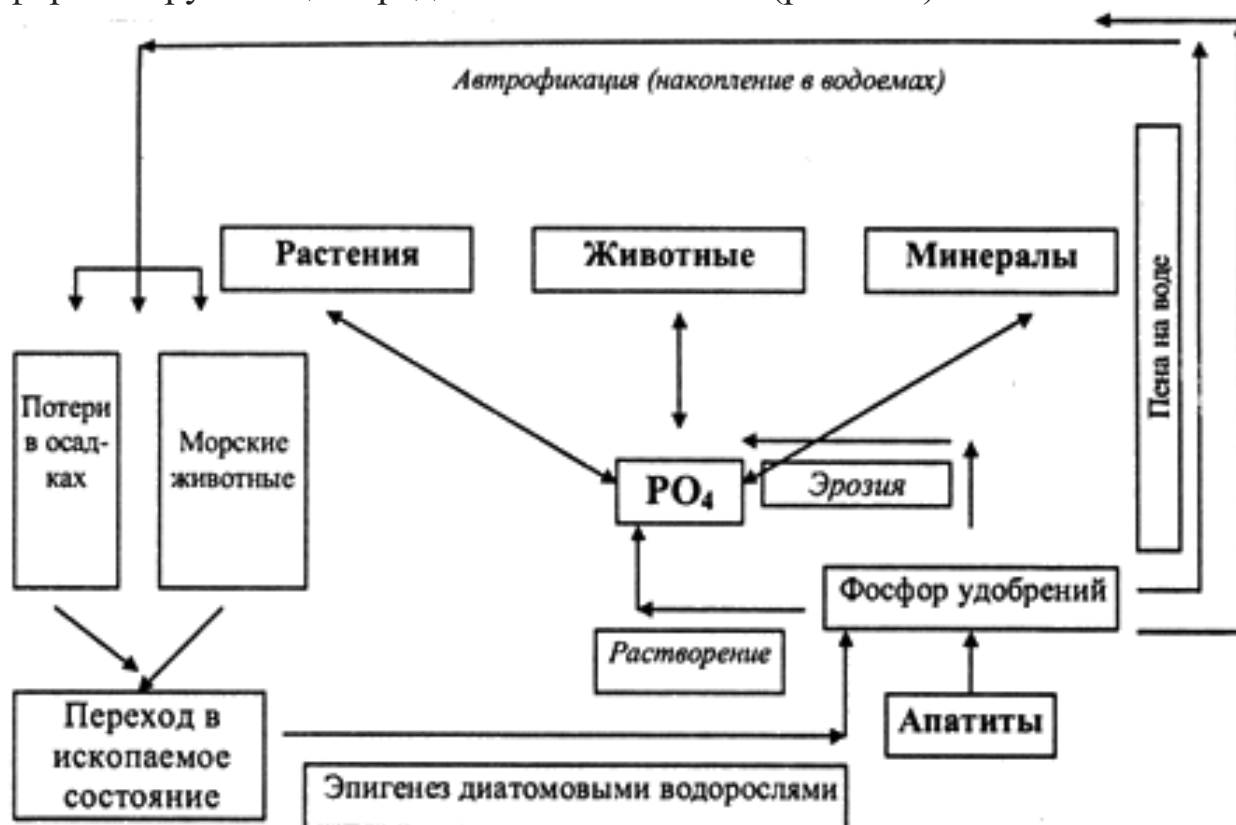


Рис. 4.1. Схема биогеохимического цикла фосфора

Основными особенностями круговорота фосфора, таким образом, являются [40]:

1. отсутствие атмосферного переноса;
2. наличие единственного источника – литосферы;
3. тенденция к накоплению в конечных водоёмах стока.

При интенсивной сельскохозяйственной эксплуатации земель потери фосфора в ландшафте становятся практически необратимыми. Компенсация возможна только за счёт применения фосфорных удобрений. Известно, что фосфорные удобрения являются важным и необходимым звеном в получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

В то же время, вредные соединения фосфатов в последнее время становятся одним из важнейших факторов загрязнения речных и озерных вод.

Таким образом, в последнее время общая картина распределения и миграции фосфора в биосфере резко нарушена человеком.

1. мобилизация фосфора из агроруд и шлаков, производство и применение фосфорных удобрений,
2. производство фосфорсодержащих препаратов и их использование в быту;
3. производство фосфорсодержащих ресурсов продовольствия и кормов, вывоз и потребление их в зонах концентрации населения; в
4. развитие рыбного промысла, добыча морских моллюсков и водорослей, что влечет за собой перераспределение фосфора из океана на сушу.

В итоге наблюдается процесс фосфатизации суши, но процесс этот проявляется крайне неравномерно. Увеличивается содержание фосфора в окружающей среде больших городов.

4.3. Источники фосфорного питания растений

Основной источник фосфора для растений в природе – соли ортофосфорной кислоты H_3PO_4 . Из солей полифосфорных кислот фосфор может быть использован после их гидролиза.

Будучи трехосновной, ортофосфорная кислота может диссоциировать на три аниона: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} и PO_4^{3-} . Преобладание в почвенном растворе той или иной модификации иона ортофосфорной кислоты зависит от степени кислотности почвы.

При слабокислой или близкой к нейтральной реакции присутствует главным образом анион H_2PO_4^- , меньше HPO_4^{2-} , при слабощелочной (рН выше 7) доминирует HPO_4^{2-} . Ион PO_4^{3-} , как и молекула H_3PO_4 , не имеет существенного значения для питания растений, так как ион существует в сильнощелочной среде, а H_3PO_4 – в сильнокислой.

Доступность растениям различных солей ортофосфорной кислоты зависит от степени их растворимости. Хорошо растворимы в воде соли фосфорной кислоты с одновалентными катионами калия, натрия, аммония $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ [20].

Двузамещенные соли кальция и магния CaHPO_4 и MgHPO_4 в воде нерастворимы, но растворяются в слабых кислотах, в том числе органических. Благодаря кислой реакции и корневым выделениям они также являются важным источником фосфорного питания растения.

Фосфор труднорастворимых трехзамещенных фосфатов кальция и более сложных по составу и еще менее растворимых фосфатов недоступен для большинства растений.

Однако существует группа культур, способных усваивать его из таких труднорастворимых соединений. Это люпин, гречиха, горчица, а также горох, донник, эспарцет и конопля, которые, хотя и в меньшей степени, чем первые три, но все же усваивают фосфор из фосфоритов. Своей способности усваивать фосфор из труднорастворимых фосфатов эти культуры обязаны прежде всего кислым корневым выделениям.

Находящиеся в почве обменно-адсорбированные фосфат ионы активно участвуют в питании растений. В ходе ионного обмена фосфат-ионы могут переходить в почвенный раствор и составлять часть запаса доступного фосфора почвы [2, 14].

Несмотря на то, что адсорбированные фосфат-ионы удерживаются положительно заряженными участками поглощающего комплекса более прочно, чем катионы, они доступнее, чем фосфор апатита, стренгита, варисцита и других минералов.

4.4. Содержание и формы соединений фосфора в почвах

Обеспеченность растений фосфором во многом зависит от общих его запасов в почве, удельного веса его подвижных форм, гранулометрического состава почвы и других условий, влияющих на использование растениями фосфора из почвы и удобрений [2, 14].

Важным показателем потенциального плодородия почв является общее содержание в них фосфорных соединений. Общее количество соединений фосфора в почве может колебаться в значительных пределах в зависимости от гранулометрического состава, материнской породы, генезиса и степени окультуренности почвы.

В земной коре фосфора содержится в среднем 0,12 %, в почвах – 0,14 %. Общее его содержание в различных типах почв колеблется от 0,01 до 0,35 %, в низинных агроторфяных почвах – от 0,29 до 0,67 %, а в пойменных низинных иногда достигает 1,7 % [2, 14].

В верхних горизонтах почв любого типа и состава, как правило, больше валового фосфора, чем в нижних. Это объясняется биологическим (корни растений постепенно переносят фосфаты из нижних слоев почвы в верхние) и антропогенными факторами [2, 14].

В почве, как и в растениях, фосфор присутствует в органической и минеральной формах. В минеральных почвах доля органических фосфатов в валовом фосфоре колеблется от 16 до 48 % и увеличивается от легких почв к тяжелым [2, 14].

В низинных торфяных почвах органические фосфаты преобладают над минеральными, их удельный вес достигает 70% [2, 14].

Органические фосфаты в почве представлены различными по природе группами соединений [2, 14]:

1. индивидуальной природы (неспецифические органофосфаты)
2. природы гумусообразования (специфические соединения).

Неспецифические органофосфаты относятся к трем основным классам соединений [2, 14]:

1. фосфолипиды,
2. нуклеиновые кислоты
3. инозитолфосфаты.

При этом кальциевые и магниевые соли инозитолфосфорной кислоты содержатся в нейтральных почвах, а фитаты железа и алюминия – в кислых. Вниз по профилю почвы содержание органических фосфатов снижается, они распределяются в почве примерно так же, как гумус [2, 14].

Фосфолипиды составляют менее 1 % всего органического фосфора, нуклеиновые кислоты – до 10 % и инозитолфосфаты – 30–60 %.

Обнаружены также в небольших количествах фосфоропротеины, сахарофосфаты, глицерофосфаты, нуклеотидные коферменты, соединения фосфатов с жирными и аминокислотами и другие соединения [2, 14].

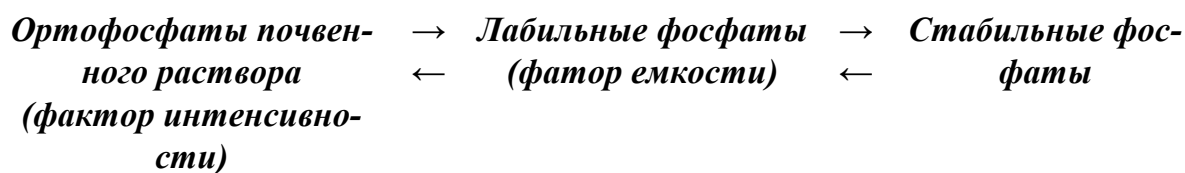
Больше половины фосфорорганических соединений представлены почвообразованными специфическими фосфогумусными соединениями. Формы этих соединений пока неясны, хотя некоторые данные позволяют считать, что фосфор в них связан с гумусовыми кислотами через ион металла [2, 14].

Для повышения уровня фосфорного питания растений и снижения потребности в фосфорных удобрениях актуально выявление факторов, усиливающих минерализацию органических фосфатов почвы [2, 14].

При антропогенном вмешательстве почвенная система стремится стабилизировать свое состояние на новом уровне, ниже которого могут возникать негативные односторонние процессы минерализации, ухудшающие плодородие почвы [2, 14].

Длительное внесение удобрений, особенно органических, увеличивает содержание органических фосфатов, но в меньшей степени, чем минеральных. Особенностью процесса минерализации органических фосфатов почвы является достаточно высокая подвижность ее продуктов, которые мало переходят в труднорастворимые соединения [2, 14].

Минеральные формы фосфора в почвах по степени участия в фосфорном питании растений можно разделить на три большие группы, находящиеся в динамическом равновесии [2, 14]:



Ортофосфаты почвенного раствора это однозамещенные водорастворимые фосфаты кальция и магния, фосфорнокислые соли одновалентных катионов калия, натрия, аммония и других. Эта фракция интенсивно используется растениями в начальный период роста и развития [2, 14].

О степени подвижности фосфатов в почве («фактор интенсивности») судят по способности твердой части почвы отдавать в раствор

ионы фосфора, что устанавливается присутствием фосфора в почвенном растворе. Однако выделить почвенный раствор очень сложно, поэтому используются водные и солевые вытяжки из почвы [2, 14].

Лабильные фосфаты – это фосфаты, осевшие или адсорбированные на поверхности твердых частиц почвы, почвенно-поглощающего комплекса, оксидах железа и алюминия, а также вторичные фосфаты, которые образовались после формирования почвы. Ученые считают, что 4–10 % всего почвенного фосфора связано адсорбционно [2, 14].

В отличие от первичных минералов вторичные фосфаты являются активной мобильной составной частью почвы. К ним относятся дигидратдикальцийфосфат ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), октакальцийфосфат ($\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, одно- и двузамещенные фосфаты железа [2, 14].

При нарушении фосфатного равновесия твердой и жидкой частей почвы эти фосфаты могут переходить в почвенный раствор. Фосфаты второй группы характеризуют запасы подвижного фосфора - фосфатную «емкость» почвы и являются резервом для последующего снабжения растений фосфором [2, 14].

Для определения величины запаса подвижных фосфатов используют (в зависимости от типа и состава почв) кислотные, щелочные, буферные растворители, анионообменные смолы, радиоизотопный метод и другие [2, 14].

Стабильные фосфаты – труднорастворимые соединения, заключенные в почве в первичных и вторичных минералах (окклюдированные гидратами полутораокисей, карбонатами и другими) [2, 14].

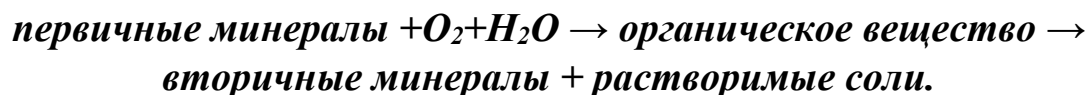
Наиболее устойчивой формой, медленно поддающейся химическому и биологическому воздействию, является фосфор в составе кристаллической решетки первичных минералов почвы: апатитов, фосфоритов, варисцитов (AlPO_4), стренгитов ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), вивианитов [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] и других [2, 14].

Фосфаты третьей группы почти недоступны для растений. Однако в процессе выветривания они могут становиться более доступными и служить источником фосфорного питания растений [2, 14].

Известно 205 фосфорсодержащих минералов, из них 95 включают железо, 60 – алюминий, 56 – кальций и 45 – марганец. Многие из фосфорсодержащих минералов встречаются в небольших количествах. На апатиты и различные производные фосфатов кальция, входящие в состав фосфоритов, приходится 95% всех природных фосфатов.

В процессе выветривания некоторое количество фосфора апатитов постепенно превращается в органические формы и в ионы, адсорбируемые другими минералами.

Химическое выветривание – процесс очень сложный. Его можно представить в виде следующей схемы:



К вторичным минералам, сформировавшимся в результате выветривания, имеющим в основном размеры илистых частиц, относятся разновидности биотитов (силикатные илистые минералы, монтмориллонит, каолинит и др.) и слаборастворимые оксиды алюминия, железа и кремния.

Фосфор в составе вторичных минералов удерживается в результате ионных, координационных и адсорбционных связей.

4.5. Способы получения, состав и свойства основных фосфорных удобрений

Фосфорные и фосфорсодержащие комплексные удобрения по растворимости и усвояемости делятся на три группы: водорастворимые; цитратно-лимоннорастворимые; труднорастворимые (рис. 4.2.) [2, 14].



Рис.4.2. Фосфорные удобрения

Водорастворимые удобрения наиболее легко усваиваются растениями. К ним относятся простой и двойной суперфосфат и комплексные удобрения: аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, карбоаммофоска, кристаллин и др [2, 14].

Ко второй группе удобрений относятся растворимые в щелочном цитратном растворе, 2% -ной лимонной кислоте, растворе трилона Б, 2% -ной муравьиной кислоте и других растворителях преципитат, обесфторенный фосфат, томасшлак, мартеновский фосфатшлак и другие термофосфаты [2, 14].

Третья группа – труднорастворимые фосфорные удобрения, такие как фосфоритная и костная мука, фосфор из которых извлекается только 20%-ной соляной кислотой или смесью соляной и азотной кислот [2, 14].

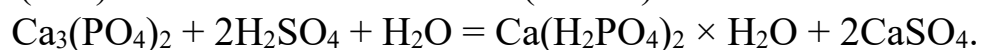
Иногда выделяют группу так называемых комбинированных фосфорных удобрений – суперфос и другие фосфориты, частично раз-

ложенные фосфорной кислотой. Комбинированными их называют потому, что они содержат и водорастворимые, и цитратнорастворимые, и труднорастворимые фосфаты [2, 14].

4.6. Водорастворимые фосфорные удобрения

Суперфосфат простой $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержит 19–20% усвояемого фосфора в расчете на P_2O_5 . Причем на усвояемый фосфор приходится 88–98 % общего его содержания. Получают простой суперфосфат обработкой апатита или фосфорита серной кислотой.

Количество кислоты рассчитывают таким образом, чтобы весь нерастворимый в воде трехкальцевый фосфат превратился в водорастворимый фосфат кальция:



Большая часть фосфора в простом суперфосфате содержится в виде монофосфата кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Кроме того, небольшое количество фосфора в нем присутствует в форме $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также трикальцийфосфата, фосфатов железа и алюминия. Помимо фосфора удобрение содержит около 50% сульфата кальция (гипса) и до 5,5 % свободной фосфорной кислоты.

Для улучшения физических свойств суперфосфата и уменьшения взаимодействия с почвой его гранулируют. При грануляции и сушке содержание воды уменьшается до 1–4 %, а свободная кислотность до 1–1,5 %.

Суперфосфат выпускается в виде светло-серой или серой массы с неодинаковыми по размеру гранулами (1–4 мм) и неприятным запахом. Гранулированный суперфосфат обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается и хорошо рассеивается.

Простой суперфосфат можно применять под все культуры и на всех почвах. Одновременно он обеспечивает растения серой.

Невысокая концентрация фосфора в удобрении позволяет вносить его равномерно в минимальных дозах – 10–15 кг/га P_2O_5 . Гранулированный суперфосфат может выпускаться с добавками бора, тогда он имеет голубой цвет [2, 14].

Двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ производят в гранулированном виде, содержание усвояемой P_2O_5 – 43–49 %, свободная кислотность – не выше 2,5 %.

По классификации Международной ассоциации производства суперфосфата и сложных удобрений двойным суперфосфатом считается удобрение, содержащее 25 % P_2O_5 , тройным – 43–48 % P_2O_5 .

Фосфор в двойном суперфосфате находится в основном в виде водорастворимого монокальцийфосфата и небольшого количества свободной фосфорной кислоты. Выпускается также двойной суперфосфат с добавками микроэлементов.

В отличие от простого суперфосфата двойной содержит меньше примесей и совсем не содержит серы. Внешне он весьма схож с простым гранулированным суперфосфатом, но гранулы более крупные, выравненные по размеру и темнее (серого или темно-серого цвета) [2, 14].

Химические и физические свойства двойного суперфосфата, применение и эффективность его такие же, как и простого суперфосфата. Только при удобрении культур, положительно реагирующих на серу (капустные, клевер и др.), эффективнее простой суперфосфат. Двойной суперфосфат используется на всех почвах под все сельскохозяйственные культуры. Это ценное транспортабельное, экономически выгодное удобрение [2, 14].

В последнее время налажено производство аммонизированного суперфосфата с содержанием до 8 % N и 33 % P_2O_5 .

4.7. Цитратно- и лимоннорастворимые фосфорные удобрения

Преципитат $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержит не менее 38 % P_2O_5 и не более 8 % влаги. Получают кислотной обработкой фосфатов при осаждении фосфорной кислоты известковым молоком, а также как продукт отхода при желатиновом производстве. Белый или светлый сыпучий порошок без запаха, перевозится в четырехслойных бумажных мешках. Выпуск его ограничен [2, 14].

Содержит цитратнорастворимый фосфор и в воде не растворяется. Применяют преципитат только для основного внесения, в этом случае он не уступает двойному суперфосфату, а на кислых почвах даже его превосходит [2, 14].

Термофосфаты составляют особую группу фосфорсодержащих продуктов, получаемых спеканием и сплавлением при высокой температуре (1200–1400 °С) природных фосфатов с содой, сульфатом натрия, кизеритом, бардяным углем, а также сплавлением с магнийсодержащим сырьем. Термофосфаты содержат фосфор в форме $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + \text{SiO}_2$ [2, 14].

К группе термических фосфатов относят также шлаки (томасшлак, мартеновский шлак), обесфторенный фосфат и др. Большое распространение термофосфаты получили на Западе [2, 14].

Растущая потребность в фосфорных удобрениях при сравнительно ограниченных ресурсах сырья и неоднородности последнего, необходимость удешевления производства фосфорных удобрений делают актуальными бескислотные способы производства и применения нерастворимых в воде фосфатов. Поэтому термофосфаты являются перспективным удобрением [2, 14].

Кроме того, они обладают и другими достоинствами: могут использоваться под все культуры и на всех почвах, их можно производить из природных фосфатов, непригодных для непосредственного применения в виде фосфоритной муки, а также трудно поддающихся химической обработке для получения водорастворимых фосфорных удобрений [2, 14].

Фосфатшлак мартеновский содержит 8–12 % P_2O_5 в форме $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 \cdot \text{CaSiO}_3$. Побочный продукт переработки в мартенах богатых фосфором чугунов. Тонкий, тяжелый, пылящий порошок черного цвета. Применяемый в качестве удобрения фосфатшлак марки ШФ-10 должен содержать не менее 10% усвояемого фосфора, а марки ШФ-7 – 7 % P_2O_5 , влаги – 1 %. На фосфатшлак приходится около 1% от всех фосфатов и используется он в основном в районах, прилегающих к металлургическим заводам [2, 14].

Фосфатшлак можно использовать на всех типах почв и только для основного внесения. Однако, так как он обладает щелочными свойствами, его эффективность выше на кислых почвах. Во избежание потерь азота (аммиака) фосфатшлак нельзя смешивать с аммонийными удобрениями [2, 14].

Томасшлак $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{CaSiO}_3$ по свойствам аналогичен мартеновскому фосфатшлаку. Это также побочный продукт

переработки богатых фосфором чугунов на сталь и железо по щелочному способу Томаса. Томасшлак содержит 14 % растворимого в лимонной кислоте фосфора в пересчете на P_2O_5 [2, 14].

Обесфторенный фосфат содержит 36 % P_2O_5 . Это продукт гидротермической обработки смеси апатита (или фосфорита) с небольшим количеством кремнезема (2–3 % SiO_2) при температуре 1450–1550 °С. При этом разрушается кристаллическая решетка фторапатита и удаляется фтор в газообразной форме, а фосфор переходит в растворимую (лимоннорастворимую) форму [2, 14].

Обесфторенный фосфат – порошок серого цвета, негигроскопичен, не слеживается, легко рассеивается. Его можно применять как основное удобрение на всех почвах, но так же, как томасшлак, нельзя смешивать с аммонийными удобрениями. Обесфторенный фосфат применяется и как кормовой фосфат для подкормки животных [2, 14].

4.8. Труднорастворимые фосфорные удобрения

Фосфоритная мука $Ca_3(PO_4)_2$ – самое дешевое фосфорное удобрение. Это измельченные природные фосфориты, очищенные от пустой породы.

Фосфор содержится в форме трехзамещенного фосфата кальция $Ca_3(PO_4)_2$:

- соединений фторапатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot 7CaF$,
- соединений гидроксилапатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$,
- соединений карбонатапатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$

Фосфоритная мука первого сорта содержит 29 %, второго – 23 и третьего – 20 % фосфора в пересчете на P_2O_5 .

Один из основных показателей качества удобрения – тонина помола. Остаток на сите с отверстиями 0,18 мм не должен превышать 10 % массы фосфоритной муки.

Фосфоритная мука – тонкий, тяжелый порошок темно-серого (землистого) цвета.

Недостатком фосфоритной муки является то, что она сильно пылит при транспортировке и внесении в почву.

Большинство фосфоритов в воде почти не растворяются, но в слабых кислотах некоторые фосфориты становятся растворимыми.

Под влиянием почвенной кислотности фосфоритная мука переходит в доступное для растений состояние. Ее используют и отдельно,

и как добавку к различным компостам. В первом случае она применяется только в качестве основного удобрения.

Вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ – болотная руда, фосфорнокислая закисная соль железа.

В чистом виде содержит около 28 % P_2O_5 , с примесью торфа (торфо-вивианит) – от 12 до 26 %. По влиянию на урожай сельскохозяйственных культур приближается к фосфоритной муке [2, 14].

Вивианит залегает под торфом слоями различной мощности или небольшими гнездами в виде белесой массы. На воздухе быстро синее. После добычи, длительного проветривания (для перевода закисных соединений в окисные) и подсыхания масса хорошо рыхлится и удовлетворительно рассеивается [2, 14].

Торфовивианит хороший источник фосфора для сельскохозяйственных культур на всех типах почв, поблизости от мест добычи.

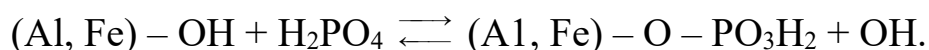
4.9. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой

Поглощение фосфатов удобрений регулируется двумя параллельно идущими процессами – сорбции и химического осаждения. Соотношение между ними зависит от реакции почвенного раствора, содержания гумуса, степени диспергированности и реакционной способности почвенных глинистых минералов, доз удобрений и времени их взаимодействия с почвами [2, 14].

Адсорбция фосфатов на поверхности почвенных частиц может происходить благодаря обмену фосфат-ионов с OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , ионами гумусовых и кремниевых кислот [2, 14].

Характерной чертой адсорбции является поведение адсорбированных фосфат-ионов как потенциалопределяющих с образованием внутренней части двойного электрического слоя [2, 14].

Адсорбция фосфат-ионов происходит на близких к поверхности гидроксильных группах (OH^-) оксидов алюминия и железа, а также на боковых поверхностях частиц глинистых минералов:



Таким образом, обменное поглощение фосфат-ионов в почве не подлежит сомнению. Это имеет большое значение для питания растений, так как благодаря ионному обмену адсорбированные фосфат-ионы могут переходить в почвенный раствор.

Поглощение фосфат-ионов растениями возможно потому, что они постоянно выделяют через корни при дыхании углекислый газ, который образует угольную кислоту, распадающуюся на ионы H^+ и HCO_3^- . HCO_3^- обменивается с коллоидами на H_2PO_4^- [2, 14].

Степень сорбции фосфатов почвами определяется количеством фосфора, находящимся в твердой части почвы. Объем сорбированного фосфора изменяется пропорционально дозе P_2O_5 . При одинаковых дозах фосфорных удобрений степень сорбции фосфатов снижается с повышением содержания фосфатов в почве.

При небольших концентрациях фосфора в растворе преобладает хемосорбция фосфат-ионов у протонированной поверхности. Хемосорбция происходит благодаря химическому взаимодействию поглощаемого вещества и поглотителя и приводит к образованию двойного электрического слоя. Этот процесс характеризуется небольшим количеством сорбционных мест и большой энергией связей.

При более высоких равновесных концентрациях фосфора в растворе преобладают процессы физической адсорбции фосфатов, происходящие в потенциалопределяющем и компенсирующих слоях двойного электрического слоя, для которых характерно большое количество сорбционных мест, но с менее прочным закреплением фосфатного иона почвой [36].

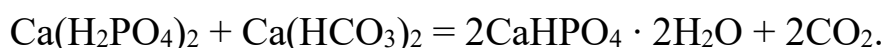
При внесении в почву монокальцийфосфата $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ вода в виде пара перемещается из окружающей почвы к удобрению. По мере растворения последнего образуется раствор, насыщенный монокальцийфосфатом и дигидратом дикальцийфосфата. Этот концентрированный раствор, содержащий много фосфора и кальция, затем передвигается по почвенным капиллярам от частиц удобрения, реагируя по пути с соседними частицами почвы и образуя свежесажженные фосфаты.

В этот раствор из почвенных частиц переходит довольно много ионов алюминия, железа, марганца и кальция. Марганец и кальций могут вступать в реакцию с растворенным фосфором и образовывать кристаллические и аморфные продукты различной степени растворимости и доступности растениям [21].

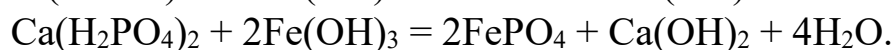
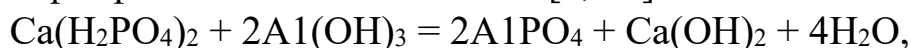
Остаточный фосфор растворимых фосфорных удобрений быстро включается в химические, физико-химические и биологические процессы, протекающие в почве.

В труднорастворимые формы растворимые фосфаты удобрений превращаются в результате химического осаждения фосфатов из растворов. При этом образовавшиеся осадки со временем стареют, приобретая строение кристаллов.

Таким образом, превращение водорастворимых фосфорных удобрений в нейтральных почвах происходит следующим образом:



На почвах кислых, кроме того, образуются труднодоступные растениям фосфаты железа и алюминия [2, 14]:



Образованию фосфатов железа и алюминия кроме высокой кислотности почвы и малой концентрации ионов кальция способствует высокое содержание активных оксидов железа и алюминия.

При нейтральной реакции почвы также могут образовываться фосфаты железа и алюминия вокруг частиц удобрения благодаря их подкисляющему свойству.

В переувлажненных почвах даже при pH выше 5,5 образуются преимущественно фосфаты железа, в песчаных – преобладают фосфаты алюминия.

Протекающие реакции приводят к образованию в почве мало доступных для растений фосфатных минералов:

- стренгита ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- варисцита ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- гидроксилapatита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_2$,
- фторapatита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ и других.

Можно выделить несколько механизмов необратимой фиксации фосфорной кислоты в почвах:

1. адсорбция растворимых фосфатов на поверхности частиц извести и постепенное их превращение в гидроксилapatиты или другие труднорастворимые соединения.

2. быстрый переход растворимых, доступных форм фосфатов в малодоступные для растений формы под влиянием полуторных оксидов железа и алюминия, особенно на кислых почвах;
3. фиксация доступных форм фосфорной кислоты главным образом вследствие адсорбции глинистыми минералами, насыщенными кальцием и другими катионами;

Превращение фосфоритной муки и других нерастворимых в воде форм фосфорных удобрений, в отличие от превращения рассмотренных водорастворимых форм фосфорных удобрений, состоит в их растворении под действием кислотности почвы, кислотами, выделяемыми микроорганизмами и растениями, а также в поглощении фосфатов почвой. В дальнейшем процесс поглощения фосфорной кислоты, фосфоритов и других водонерастворимых форм фосфорных удобрений аналогичен поглощению почвой растворимых фосфорных удобрений [2, 14].

Органическое вещество почвы благоприятно влияет на растворимость фосфатов. Высокое содержание ионов органических соединений снижает поглощение ионов фосфатов.

Фосфатный режим почвы можно регулировать локальным внесением удобрений, при котором меньше их контакт с почвой и выше коэффициент использования фосфора удобрений. Сохранению фосфора удобрений в доступных формах способствует внесение извести и органических удобрений [11].

4.10. Приемы эффективного использования фосфорных удобрений

Степень растворимости фосфорных удобрений не всегда совпадает с их удобрительной ценностью. На сильноокислых почвах легко-растворимые фосфорные удобрения (суперфосфат и др.) быстро превращаются в труднорастворимые формы и их эффективность оказывается невысокой. Поэтому в этом случае предпочтительнее фосфоритная мука и умеренно растворимые фосфорные удобрения (термофосфаты и др.) [52].

На почвах, достаточно обеспеченных подвижным фосфором, а также при выращивании культур, интенсивно его использующих, разная растворимость этих двух групп удобрений не имеет большого значения [2, 14].

На почвах слабокислых или близких к нейтральным, с низким содержанием подвижного фосфора, особенно при возделывании культур, требующих много фосфора в начале роста, предпочтительнее легкорастворимые фосфорные удобрения [2, 14].

Большое значение имеет правильное распределение и строго дифференцированное применение фосфорных удобрений исходя из их эффективности и агрохимического обследования почв [2, 14].

Эффективность фосфорных удобрений зависит от количества подвижного фосфора в почве [2, 14].

Дозы фосфорных удобрений определяют с учетом уровня планируемой урожайности, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, типа, гранулометрического состава и агрохимических свойств почвы, предшественников, сопутствующих удобрений [2, 14].

Непременным условием эффективного использования фосфорных удобрений является заделка их вспашкой или глубокой культивацией в корнеобитаемый слой почвы, так как они малоподвижны. Глубина вспашки под конкретную культуру определяет и глубину заделки [2, 14].

Для почв с реакцией, близкой к нейтральной, срок внесения фосфорных удобрений не имеет существенного значения. На кислых почвах из-за перехода водорастворимых удобрений в труднодоступное для растений состояние нельзя допускать, чтобы они долго находились в почве без растений [2, 14].

Важным приемом повышения эффективности фосфорных удобрений является допосевное ленточное внесение [2, 14].

Такой прием, как внесение фосфорных удобрений в запас, на два-три года, экономичен, но, как показывают исследования, его можно использовать лишь на почвах, в которых не выражена фиксация фосфора удобрениями в труднорастворимых для растений формах [2, 14]. Это связано с тем, что культуры, не получающие фосфорные удобрения, сильнее снижают урожай, чем его повышают культуры, под которые вносят высокие дозы фосфорных удобрений.

При периодическом их внесении культура, выращиваемая сразу после удобрения почвы, лучше обеспечивается фосфором, поэтому это

должны быть отзывчивые на фосфор культуры (озимая пшеница, картофель). Благодаря этому содержание подвижного фосфора быстрее приближается к оптимальному уровню.

Эффективно также внесение в запас фосфорных удобрений под многолетние травы, высеваемые под покров, под плодовые и ягодные культуры. Однако этот способ можно использовать только в условиях достатка фосфорных удобрений [2, 14].

Подкормки фосфорными удобрениями, содержащими фосфор в водорастворимой форме, при междурядной обработке пропашных культур дают неплохой эффект, если они по какой-то причине были внесены в недостаточном количестве в основное удобрение [2, 14]. Опыты, когда часть фосфора вносилась в подкормку, показали, что это нецелесообразно. Однако подкормки водорастворимыми фосфорными удобрениями широко применяются для многолетних трав.

Некорневые подкормки фосфорными удобрениями в дополнение к основному внесению обходятся дорого, так как приходится использовать слабые растворы, чтобы избежать ожога листьев, и практически не используются в производственных условиях [23].

Контрольные вопросы

1. В какие приемы вносится суперфосфат под однолетние культуры?
2. В какие приемы вносятся фосфорные удобрения при возделывании многолетних трав?
3. В какие приемы под однолетние культуры вносят фосфорные удобрения?
4. В каких удобрениях фосфор находится в водорастворимой форме?
5. В какой прием вносятся труднорастворимые фосфорные удобрения?
6. В какой форме выпускается двойной суперфосфат?
7. В какой форме фосфор содержится в почве?
8. В какой форме фосфор усваивается растениями?
9. К какой группе фосфорных удобрений относится двойной суперфосфат?
10. К какой группе фосфорных удобрений относится преципитат?

11. К какой группе фосфорных удобрений относится фосфоритная мука?
12. Какие комплексные удобрения в настоящее время используются в качестве фосфорных?
13. Какие сельскохозяйственные культуры могут усваивать фосфор из труднорастворимых фосфатов?
14. Какие сопутствующие элементы содержат суперфосфаты?
15. Какого цвета двойной суперфосфат?
16. Какой вид поглотительной способности наблюдается при внесении в почву фосфорных удобрений?
17. Когда у растений отмечается критический период поглощения по фосфору?
18. По какому признаку и на сколько групп классифицируются фосфорные удобрения?
19. Под какую обработку почвы следует вносить фосфорные удобрения в основной прием?
20. Укажите содержание действующего вещества в двойном суперфосфате, %:
21. Укажите способ получения суперфосфатов.
22. Укажите сырье для производства фосфорных удобрений:
23. Укажите фосфорное удобрение.

Глава 5. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

5.1. Роль калия в жизни растений

Калий является одним из основных элементов минерального питания растений. В растительных организмах он находится в ионной форме и не входит в органические соединения клеток [39].

Содержание калия в растениях - от 0,7 до 1,4% сухой биомассы

Роль калия в жизни растений:

- Влияет на физиологическое состояние коллоидов в цитоплазме, их обводненность (задерживает влагу в растении), а, соответственно, повышает устойчивость к засухе;
- Влияет на интенсивность фотосинтеза, углеводного и азотного обменов;
- Повышает содержание сахаров в растении в целом;
- Усиливает отток углеводов из листьев в другие органы;

- Повышает морозоустойчивость растений, в связи с увеличением количества сахаров и осмотического давления в клетках;

Роль калия почве:

Между формами калия установлено динамическое равновесие и если растение потребляет водорастворимый калий, то его количество восполняется за счет обменного, а обменный калий через какое-то время будет компенсирован необменным гидролизуемым (фиксированным) калием, а также за счет необменного калия первичных минералов [1].

Из-за такой динамики калия в почве находится больше, чем азота в 5-50 раз, а фосфора 8-40 раз.

Факторы риска дефицита калия:

- Почвы легкого гран. Состав, торфяные почвы;
- Карбонатные и известкованные почвы (высокое содержание Са и Mg);
- Жаркая и сухая погода

Калий содержится главным образом в цитоплазме и вакуолях, в ядре отсутствует. Около 20 % калия удерживается в клетках растений в обменно-поглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы, до 1 % его необменно поглощается митохондриями, а основная часть находится в клеточном соке и легко извлекается водой. Поэтому калий вымывается из растений дождями, особенно из старых листьев [2, 14]. Физиологические функции калия в растительном организме разнообразны.

Накапливающийся в хлоропластах и митохондриях калий стабилизирует их структуру и способствует образованию богатой энергией АТФ в процессах фотосинтетического и окислительного фосфорилирования.

На свету прочность связей иона калия с коллоидами цитоплазмы клетки усиливается, а в темноте она ослабевает и происходит частичное выделение калия из растений через корни. Он оказывает положительное влияние на физическое состояние коллоидов цитоплазмы, повышает их оводненность, набухаемость и вязкость, что создает нормальные условия обмена веществ в клетках, повышает устойчивость растений к засухе [50].

Калий положительно влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растении, на углеводный и азотный обмен.

Повышая активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, калий способствует накоплению крахмала в клубнях картофеля, сахара в сахарной свекле, корнеплодах и других растениях, повышает устойчивость зерновых к морозам, а также к полеганию, к поражению мучнистой росой и ржавчиной, а овощные культуры, картофель и корнеплоды делает менее восприимчивыми к гнилям [41].

Молодые жизнедеятельные органы растений содержат значительно больше калия, чем старые. В зерновых культурах калия больше в соломе, чем в зерне. При недостатке калия в питательной среде происходит его отток из более старых органов и тканей в молодые органы, где он используется повторно [2, 14].

При дефиците калия в почве края и кончики листьев буреют, становятся похожими на обожженные, на пластинке листа появляются мелкие ржавые пятна [2, 14].

Большое значение калия связано с содержанием в растениях радиоактивного изотопа калия ^{40}K . На его долю приходится 0,011 %, ^{39}K – 93,08 и ^{41}K – 69,1 %. ^{40}K излучает бета- и гамма-лучи [2, 14].

Симптомы дефицита калия:

- Признаки недостатка калия проявляются в середине вегетативного роста;
- Наблюдается замедление роста, окраска листьев голубовато-зеленая, тусклая, часто с бронзовым оттенком.
- Пожелтение, а в дальнейшем побурение и отмирание кончиков и краев листьев «Краевой ожог».
- Междоузлия укороченные. Развивается бурая пятнистость, особенно ближе к краям
- Морщинистость, края листьев закручиваются, при этом жилки кажутся погруженными в ткань листа.
- Корни длинные слизистые пожелтелые, с малым количеством боковых корешков.
- Стебель тонкий, рыхлый полегающий.
- Недостаток калия вызывает задержку роста, а также развития зачаточных бутонов и соцветий

5.2. Биогеохимический цикл калия

Кларк калия в земной коре составляет 2,89, а натрия 2,46, т.е. их относительные содержания очень близки.

Калий состоит из смеси 3-х изотопов: ^{39}K – 93,08%; ^{40}K – 0,0119%; ^{41}K – 6,91%. Изотоп ^{40}K неустойчив и превращается в соседние изобары кальция и аргона.

Превращение калия в аргон явилось основой для разработки калий-аргонового метода ядерной геохронологии.

Космическая распространенность калия, как элемента нечетного, невелика по сравнению с четными кальцием и кислородом.

По размерам ион калия наиболее крупный среди других ведущих катионов литосферы. Поэтому объемный кларк калия занимает второе место после кислорода в земной коре.

Калий – химически активный металл, в самородном состоянии не встречается. Во всех химических соединениях на Земле выступает как одновалентный металл. Металлический калий на воздухе «сгорает», быстро окисляясь до K_2O . Число минеральных видов – 115 (втрое меньше, чем у кальция и вдвое меньше, чем у натрия) [54].

Важнейшие минералы:

1. Биотит,
2. Галоиды
3. Глауконит,
4. Карналлит
5. К-полевые шпаты (ортоклаз, микроклин),
6. К-селитра
7. Лейцит.
8. Мусковит,
9. Нитраты
10. Силикаты
11. Сильвин,
12. Флогопит,

По химическим свойствам калий близок к натрию, что определяет их совместную миграцию. Но их поведение в зоне гипергенеза и биосфере в целом резко различно.

Большая часть калия в ходе гипергенного преобразования силикатов остается в составе вторичных глинистых минералов, поэтому калий гораздо прочнее удерживается в пределах Мировой суши, чем

натрий. И все же частичное высвобождение ионов калия в процессах гипергенеза происходит, и он активно вовлекается в биогеохимический круговорот (рис. 5.1.) [26].

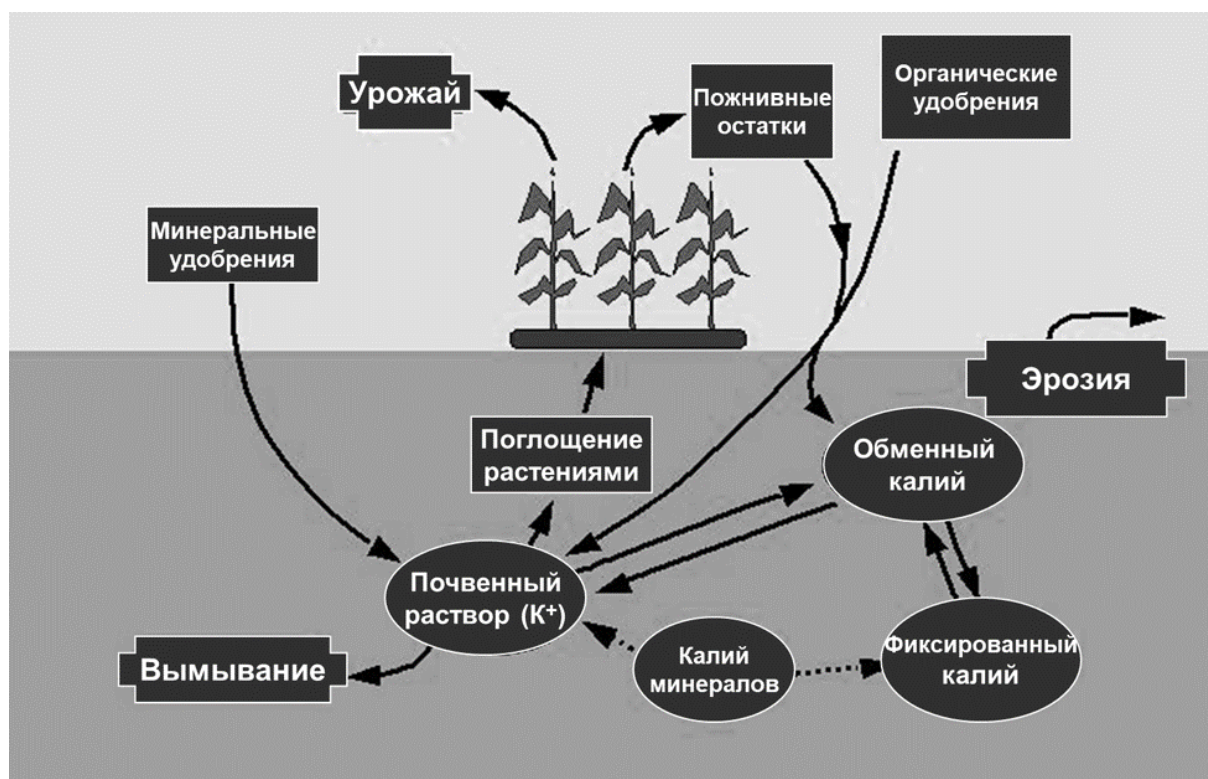


Рис.5.1. Биогеохимический цикл калия

Обусловлено это тем, что калий играет очень важную роль в жизни живых организмов. В условиях влажного климата при выветривании калийсодержащих минералов калий легко выщелачивается и переносится водными растворами.

Однако вынос калия в коре выветривания происходит менее интенсивно, чем кальция и натрия. Это связано с тем, что крупный ион калия в большей степени сорбируется тонкодисперсными минералами.

Ионы калия легче сорбируются и некоторыми коллоидами (например, гидроокислами железа и алюминия), чем ионы натрия. Реакции катионного обмена с глинистыми минералами также способствуют фиксации калия [12].

В почвах также происходит обмен между ионами калия и гидроксония, которые имеют сопоставимые ионные размеры. Таким спо-

собою калий может фиксироваться в гидрослюдах, каолините, монтмориллоните. Калий в большей степени, чем натрий, поглощается наземной растительностью.

Поэтому значительная часть калия сохраняется в почвах, в то время как большая часть натрия выносится в океан. В составе стока с материков натрия почти в 2,5 раза больше, чем калия.

Калий – важнейший элемент живых организмов. Они содержат от 0,1 до 0,01% калия. В золе культурных растений до 25-60% K_2O . Некоторые организмы способны концентрировать калий в значительных количествах. Так, в некоторых водорослях содержание калия достигает 3% живой массы.

Наземные растения поглощают калий из почвы. При недостатке калия листья бледнеют и отмирают, семена теряют всхожесть. Калий легко проникает в клетки организмов и увеличивает их проницаемость для различных веществ. Он оказывает значительное влияние на обмен веществ и необходим растениям для фотосинтеза [32].

Кроме того, калий улучшает поступление воды в клетки растений и понижает процесс испарения, тем самым увеличивая устойчивость растений к засухе. При недостатке или избытке калия интенсивность фотосинтеза снижается, а интенсивность дыхания повышается. Недостаток калия в почвах приводит к значительному снижению урожайности растений.

Именно поэтому кларк калия в живом веществе такой же высокий, как у азота. Особенно много калия накапливают некоторые морские водоросли (до 5%).

В биологический круговорот на суше вовлекается ежегодно около $1,8 \times 10^9$ тонн калия. Освобождающаяся из системы биологического круговорота на суше масса калия частично задерживается в мертвом органическом веществе и сорбируется минеральным веществом почвы (глинистыми минералами), а частично вовлекается в водную миграцию.

Количество калия, в настоящее время связанное в мертвом органическом веществе педосферы составляет по данным разных авторов от 3×10^9 до 6×10^9 тонн. Ежегодно с континентальным водным стоком в океан поступает более 61×10^6 тонн калия в растворенном состоянии (виде свободных ионов) и 283×10^6 тонн калия в составе взвесей (глинистые частицы, органическое вещество и т.д.).

Калий активно мигрирует также в системе поверхность океана-атмосфера в составе аэрозолей: средняя концентрация этого элемента в атмосферных осадках над океаном - 15%.

Концентрация калия в атмосферных осадках над континентами заметно выше, в среднем 0,7%. Значительное количество калия переносится с пылью с суши в океан.

В гипергенной зоне крупные концентрации калия встречаются редко и представлены эвапоритами – сильвином и карналлитом. Еще реже встречаются нитраты калия в виде калиевой селитры органического происхождения (образуется в условиях аридного климата).

Кларк натрия в живом веществе очень низок – 0,008 (более чем на два порядка ниже, чем у калия), что свидетельствует о низком потреблении натрия живым веществом. Однако, в малых количествах натрия необходим всем живым организмам.

В условиях влажного климата натрия легко выходит из биологического круговорота и выносится с жидким стоком за пределы ландшафта. В результате наблюдается общее обеднение последнего натрием. Содержание натрия в растительных организмах обычно очень низкое.

Животные организмы нуждаются в повышенных количествах этого элемента., так как он входит в состав крови. Влияет на деятельность сердечно-сосудистой системы и почек. Поэтому животные иногда нуждаются в подкормке поваренной солью.

В сухом климате натрия концентрируется в грунтовых и озерных водах и накапливается в солончаковых почвах (действие испарительного барьера). Соответственно, и растительность галофитных сообществ содержит повышенные количества натрия.

Тем не менее, роль биологического круговорота натрия, в отличие от калия, сравнительно невелика. Зато очень значительна его водная миграция. По особенностям миграции в биосфере натрия весьма схож с хлором. Он образует легкорастворимые соли, поэтому накапливается в Мировом океане, участвует в атмосферной миграции.

Основной источник подвижного натрия в биосфере – выветривающиеся изверженные породы (основной источник хлора – вулканизм).

Техногенез внес существенные коррективы в биогеохимические пути миграции натрия. Основное значение имеет добыча галита (поваренной соли), соды и мирабилита. На характер биогеохимических циклов натрия существенное влияние оказывает и орошение земель в засушливых районах.

5.3. Содержание и формы соединений калия в почве

Почти все почвы (кроме торфяных) содержат калия в 5 – 10 раз больше, чем азота и фосфора. Удельный вес калия колеблется от 0,5 до 3 % в разных типах почв. Больше калия (2 – 2,5 %) содержат глинистые и суглинистые почвы, меньше (1 – 2 %) – песчаные и супесчаные. Торфяные почвы содержат только 0,03 – 1 % калия. Однако калий содержится в почвах главным образом в недоступной для растений форме.

По доступности растениям все соединения калия в почве можно распределить на пять групп: калий горных пород и минералов, водорастворимые соединения калия, обменный (поглощенный) калий, калий органического вещества, необменный или фиксированный калий [2, 14].

Калий горных пород и минералов составляет 98 – 99 % общего количества калия в почве и представлен в виде труднорастворимых алюмосиликатов: полевых шпатов, слюд и гидрослюд. Он становится доступным растениям только после разрушения и превращения минералов в более простые минералы и соли и большого значения в питании растений не имеет [2, 14].

Водорастворимые соединения калия (нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, карбонаты) находятся в почвенном растворе. Доступны для растений, но содержатся в очень незначительных количествах: от 1 до 7 мг K_2O в 1 кг почвы, или от 3 до 21 кг на 1 га [2, 14].

Обменный, или поглощенный, калий представлен катионами калия в почвенном поглощающем комплексе. Катионы ППК и водорастворимые соединения калия – это основные источники калийного питания растений. Поэтому степень обеспеченности почв калием для питания растений принято выражать содержанием его в подвижной форме (сумма водорастворимого и обменного) [2, 14].

Калий органического вещества входит в состав растительных остатков и микроорганизмов. Растениями непосредственно не усваивается, но в процессе минерализации органических веществ легко переходит в почвенный раствор и становится доступным для растений [2, 14].

Однако даже на хорошо окультуренных почвах содержание калия, входящего в состав плазмы микроорганизмов не превышает 25 кг/га и в связи с этим эта форма калия практического значения в питании растений не имеет [2, 14].

Необменный, или фиксированный, калий поглощается почвой, прочно удерживается кристаллической решеткой минералов и поэтому труднодоступен для растений [2, 14].

Соотношение разных форм калия в почве зависит от ее типа и гранулометрического состава, степени окультуренности [2, 14].

Между формами калия в почве существует подвижное (динамическое) равновесие, и если, например, растение поглощает водорастворимый калий, то количество его в почве пополняется за счет обменного, а уменьшение последнего через какое-то время восполняется за счет необменного калия.

Таким образом, по мере потребления растениями подвижного калия запасы его будут пополняться за счет труднообменного, а также калия кристаллической решетки минералов. Однако в почве могут происходить и обратные процессы превращения одной формы в другую. Как указывает ряд исследователей, попеременно подсушивание и увлажнение почвы, обычно летом, несколько ускоряют этот процесс. Мобилизирующее воздействие на переход калия в доступные формы оказывают сами растения.

Уровень использования калия из почвы зависит от ее типа и гранулометрического состава, от общего содержания его в почве, биологических особенностей культур и других условий. Поэтому для повышения плодородия почв и рационального использования удобрений нужна оптимизация калийного питания растений, внесение калийных удобрений с учетом содержания калия в почвах.

Ионы обменного калия неравнозначны по доступности, которая зависит от их размещения в ППК почвы. Наименее прочно связаны ионы калия, которые сорбируются и удерживаются на планарных поверхностях кристаллов, несколько прочнее ионы, прикрепленные на

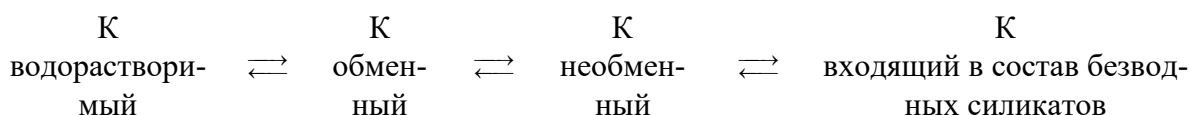
углах и ребрах. Калий, занимающий эти сорбционные позиции, относится к категории интенсивно обменного калия, так как ионы его относительно быстро переходят в почвенный раствор [2, 14].

Наиболее прочно ионы обменного калия удерживаются в межпакетных гексагональных пустотах решетки и на клинообразных позициях ее боковых граней [2, 14]. На этих же позициях происходит и необменная фиксация калия.

Природный необменный калий прочно связан с кристаллической решеткой минералов и переходит в доступное состояние в результате выветривания.

Калий, фиксированный почвой из удобрений доступен растениям, причем его доступность тем выше, чем больше количество его фиксировано почвой.

Формы соединений калия могут переходить друг в друга. Это можно выразить следующим образом [2, 14]:



Степень обеспеченности почв доступным для растений калием выражается содержанием подвижных его форм. Однако более полная характеристика калийного режима почвы предусматривает кроме содержания подвижных форм калия в почве учет степени его подвижности, т.е. степени доступности растениям.

Современные методы позволяют дать такую оценку. Она базируется на физико-химической взаимосвязи ионов калия, кальция и магния в системе «почва - почвенный раствор» и выражается через термодинамический потенциал калия, или так называемый калийный потенциал, который рассматривается как «фактор интенсивности» почвенного калия.

Под калийным потенциалом понимают изменение свободной энергии в реакциях обмена между катионами калия, с одной стороны, и кальция и магния – с другой, в системе «твердая часть почвы – почвенный раствор» при постоянных значениях температуры (25 °С) и давления (1,01·10⁵ Па).

Калийный потенциал (ΔZ°) находят по формуле $\Delta Z^\circ = pK - 0,5 pCa$, где p – отрицательный логарифм активностей ионов K^+ и суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Калийный потенциал почвы указывает на возможность перехода поглощенного ею калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих его двухвалентных катионов. Чем больше числовое значение калийного потенциала, тем ниже способность K^+ к переходу в раствор, а следовательно, и его доступность растениям [43].

Поскольку получаемая величина является отрицательным логарифмом, калийный потенциал служит универсальным и сравнительно постоянным показателем для каждого типа почвы.

Согласно принятой градации, величина калийного потенциала в интервале от 2,5 до 2,9 свидетельствует о недостатке калия в почве для нормального развития растений, значения 1,8–2,2 соответствуют оптимальным условиям, менее 1,5 – указывает на относительный избыток этого элемента [24].

Калийный потенциал может использоваться для диагностики калийного питания растений и при разработке рекомендаций по внесению удобрений.

Для характеристики калийного режима почв кроме содержания подвижного (обменного) калия большое значение имеет такой дополнительный показатель, как степень насыщенности поглощающего комплекса калием в процентах от емкости катионного обмена (ЕКО). Это позволяет контролировать содержание подвижных форм калия в почве на уровне необходимом для формирования заданных урожаев, и избежать потерь калия от вымывания осадками на легких почвах [2, 14].

5.4. Круговорот калия в земледелии

Круговорот калия в земледелии более благоприятный, чем фосфора. В отличие от фосфора и азота основная часть калия содержится в нетоварной части растениеводческой продукции – листьях, стеблях, соломе, используемых на корм и подстилку (рис. 5.2.).

Поэтому он почти весь с навозом возвращается в почву. Таким образом, рациональное использование растительных отходов и навоза очень важно для обеспечения почвы калием. Однако возделываемые культуры выносят калия значительно больше, чем фосфора, а иногда и азота.

Кроме того, какое-то количество калия вымывается из почвы, а также теряется из-за эрозии.

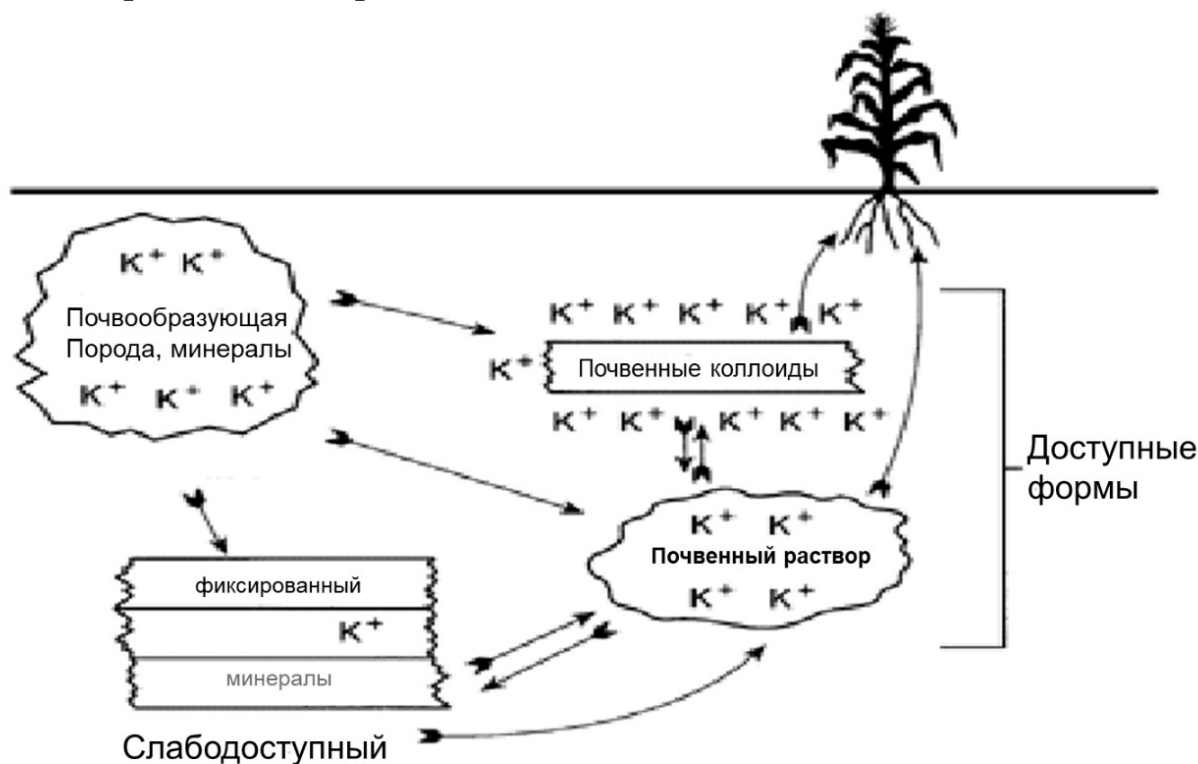


Рис.5.2. Превращения калия в почве

Небольшое количество калия поступает в почву с семенами и атмосферными осадками. Однако ни этот калий, ни поступающий с органическими удобрениями не может компенсировать вынос его урожаем и потери из почвы. Поэтому для повышения плодородия почв, получения высоких урожаев особенно требовательных к этому элементу питания культур важную роль играют минеральные калийные удобрения.

Наиболее эффективны последние на песчаных и супесчаных почвах, а также торфяных, содержащих мало калия [2, 14].

5.5. Состав и свойства калийных удобрений

Основной формой калийных удобрений является **хлористый калий** KCl. Ассортимент калийных удобрений планируется расширить за счет производства комплексных удобрений, в состав которых входит калий [2, 14].

Хлористый калий (KCl) – основное калийное удобрение, на долю которого в ассортименте калийных удобрений приходится около 95 %. Содержит 56 – 60 % K_2O . Хлористый калий - кристаллическое вещество розового, белого и красно-бурого цвета, хорошо растворимое в воде [2, 14].

Сернокислый калий (сульфат калия K_2SO_4) – мелкокристаллическая соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимая в воде. Содержит 46 – 50 % K_2O . Удобрение обладает хорошими физическими свойствами и может применяться на любых почвах и под все культуры, но особенно хорошо для культур, чувствительных к хлору (картофель, гречиха, лук, огурцы и др.) [2, 14].

40%-ная калийная соль ($KCl + KCl \cdot nNaCl$) – кристаллическая соль серого цвета с включением розовых кристаллов. Получается механическим смешиванием хлористого калия с тонкоразмолотым сильвинитом. Содержит 40% K_2O . Хорошее удобрение для культур, отзывчивых на натрий и малочувствительных к хлору (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды). Для растений, чувствительных к избытку хлора, калийная соль менее пригодна, чем хлористый калий [2, 14].

Цементная пыль – отходы цементной промышленности, бесхлорное калийное удобрение. Содержит 10–15% K_2O . Выпускается гранулированным, упаковывается в бумажные мешки. Калий присутствует в виде солей карбонатов, бикарбонатов, сульфатов и в незначительной степени силикатов. Цементная пыль содержит также гипс, окись кальция, полуторные окислы и примеси микроэлементов. Применяется в качестве основного удобрения, особенно на кислых почвах, под хлорофобные культуры.

Древесная зола является ценным фосфорно-калийным и известковым удобрением, так как в ней содержится до 7 % фосфора (P_2O_5), до 15 % – калия (K_2O) и около 40 % – кальция (CaO). Есть в ней и микроэлементы. В отличие от промышленных удобрений зола не содержит хлора и поэтому наиболее эффективна для культур, отрицательно реагирующих на хлор (картофель и ягодники), особенно на кислых дерново-подзолистых почвах. Для улучшения качества компостов в них добавляют золу вместо извести (3 – 4 % массы компостируемого материала).

5.6. Взаимодействие калийных удобрений с почвой

Все калийные удобрения хорошо растворимы в воде. При внесении в почву они быстро растворяются и на основе обменных реакций вступают во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом [2, 14].

Часть калия удобрений поглощается почвой в результате необменного поглощения [2, 14].

Калий и другие катионы (Na^+ , Mg^{2+}), входящие в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и поэтому легко вымывается. В поглощенном состоянии снижается подвижность калия и тем самым предотвращается его вымывание [2, 14].

Исключение составляют песчаные и супесчаные почвы, имеющие малую емкость поглощения. Обменно поглощенный почвой калий удобрений легко доступен растениям. Коэффициент использования калия из минеральных удобрений – 60 – 70 % [2, 14].

На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава калийные удобрения вносят осенью под зяблевую вспашку. В этом случае они попадают во влажный слой почвы, где развивается основная масса корней, поэтому калий лучше усваивается растениями. На легких почвах, особенно в годы с большим количеством осадков, когда наиболее вероятно вымывание калия, удобрения целесообразно вносить весной под культивацию. Это же относится и к торфяным почвам с неотрегулированным водным режимом.

Все калийные удобрения – физиологически кислые соли, но кислотность их меньше, чем аммонийных удобрений, и проявляется только при длительном применении под культуры, потребляющие большое количество калия (гречиха, корнеплоды, картофель, овощи) [2, 14].

Катионы K^+ и Na^+ , содержащиеся в калийных удобрениях, поглощаясь почвой, вытесняют из нее эквивалентное количество катионов Ca^{2+} или H^+ и Al^{3+} (на кислых почвах), а ионы H^+ и Al^{3+} подкисляют почвенный раствор, увеличивают содержание в ней алюминия [2, 14].

Сильное подкисление происходит только при систематическом внесении высоких доз удобрений, особенно с низким содержанием ка-

лия, на почвах, не насыщенных основаниями. Чтобы предупредить отрицательное влияние калийных удобрений, на этих почвах необходимо проводить известкование [2, 14].

Фиксированные катионы калия менее доступны растениям, а в некоторых случаях и вовсе недоступны. Необменное поглощение (фиксация) калия удобрений составляет от 14 до 82 % [2, 14].

Необменное поглощение калия свойственно глинистым минералам монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, имеющим трехслойную разбухающую решетку. Поэтому размер фиксации калия почвами в сильной степени зависит от их минералогического состава: чем больше в почве содержится минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем сильнее фиксация калия. Песчаные и супесчаные почвы калия фиксируют меньше, чем средне- и тяжелосуглинистые [2, 14].

Механизм фиксации: катионы проникают в межpacketные пространства, когда они имеют наибольшие размеры (в состоянии набухания), и в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев занимают гексагональные пустоты, притягивая к себе оба отрицательно заряженных кислородных слоя, в результате чего оказываются в замкнутом пространстве.

Высушивание почвы, особенно чередующееся с увлажнением, может значительно усиливать процессы фиксации калия. Поэтому калийные удобрения не целесообразно вносить в верхний, часто пересыхающий слой почвы [2, 14].

Необменное поглощение калия почвой из крупнокристаллических и гранулированных калийных удобрений меньше, чем из мелкокристаллических, примерно на 20–30 % ввиду меньшей поверхности контакта.

От формы калийного удобрения величина фиксации калия практически не зависит. При внесении высоких доз калийных удобрений абсолютное количество фиксированного почвой калия возрастает, а относительное – снижается.

При длительном систематическом внесении калийных удобрений в почве повышается содержание и обменных, и необменных форм калия. При этом количество обменного калия увеличивается быстрее, чем водорастворимого.

Характер взаимодействий калийных удобрений с почвенным поглощающим комплексом свидетельствует об очень слабой миграции калия по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв [2, 14].

Как правило, на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава обменный калий удобрений не выщелачивается ниже слоя 40–60 см, т.е. остается в корнеобитаемом слое [2, 14].

Очень слабая миграция калия – вторая причина, почему калийные удобрения нельзя заделывать в самый верхний слой почвы, так как корневая система уходит в поисках влаги в более глубокие горизонты. По этой же причине калийные удобрения при подкормках чаще всего бывают менее эффективны, чем при разовом внесении всей дозы до посева [2, 14].

5.7. Особенности использования калийных удобрений

Использование калийных удобрений на бедных калием дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных почвах обычно дает значительные прибавки урожая всех сельскохозяйственных культур [2, 14].

При определении норм калийных удобрений принимают во внимание тип и гранулометрический состав почв, содержание в них подвижных форм калия, условия увлажнения, биологические особенности сельскохозяйственных культур, величину планируемого урожая и его качество. Одним из важнейших условий хорошего действия калийных удобрений является достаточная обеспеченность растений другими элементами питания, прежде всего азотом и фосфором [2, 14].

На связных почвах всю норму калийных удобрений целесообразно вносить с осени под плуг при зяблевой вспашке и не проводить подкормок (за исключением небольшой дозы в рядки под некоторые культуры). При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений хлор вымывается из корнеобитаемого слоя почвы осенне-весенними осадками и не оказывает отрицательного влияния на хлорофобные культуры [2, 14].

Если с осени калийные удобрения внести не удалось, их вносят под глубокую культивацию рано весной, но в этом случае хлорсодержащие удобрения могут оказать отрицательное влияние на урожайность чувствительных к хлору культур.

Только на песчаных и супесчаных, а также торфяных и пойменных почвах из-за опасности вымывания не только хлора, но и калия, калийные удобрения следует вносить весной. На легких почвах, особенно орошаемых, целесообразно часть калийных удобрений вносить в подкормку пропашных культур [2, 14].

Более требовательны к калию овощные, корнеплоды, картофель, плодовые и силосные культуры. Под эти культуры и следует вносить калий в первую очередь. Однако плодовые, ряд овощных (особенно закрытого грунта), гречиха, картофель, лен и некоторые другие культуры нуждаются в бесхлорных калийных удобрениях. Лучшей формой калийных удобрений для них является сернокислый калий. При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений отрицательное влияние хлора, как отмечалось, исключается [2, 14].

Для сахарной свеклы, кормовых корнеплодов первостепенное значение имеют калийные удобрения, содержащие наряду с калием натрий (калийная соль). Натрий усиливает отток углеводов из листьев в корни, что способствует увеличению содержания в них сахара [2, 14].

На известкованных почвах, особенно для льна и картофеля, требуются более высокие (на 20%) нормы калийных удобрений из-за антагонизма между ионами калия и кальция при поступлении их в растения [2, 14].

Использование растениями калия из калийных удобрений в год внесения составляет от 12 до 50% в зависимости от культуры и почвенно-климатических условий. Результативно совместное внесение органических и минеральных калийных удобрений. Важно помнить, что на почвах, бедных азотом и фосфором, одни калийные удобрения не дают должного эффекта [2, 14].

Важным условием эффективного применения калийных удобрений является хорошая обеспеченность растений азотом и фосфором. На почвах, бедных азотом и фосфором, одни калийные удобрения не дают должного эффекта.

Калийные удобрения повышают урожайность зерновых культур, озимого и ярового рапса на 2 – 3 ц/га. Окупаемость 1 кг K_2O зерновыми культурами составляет в среднем 3 – 5 кг зерна [2, 14].

Контрольные вопросы

1. В какие приемы вносятся калийные удобрения при возделывании многолетних трав?
2. В какие приемы под яровые культуры вносят калийные удобрения?
3. В какой почве содержится минимальное количество калия?
4. В какой форме калий не содержится в почве?
5. В какой форме находится калий в растениях?
6. Какая из почв имеет наименьшее содержание калия?
7. Какая почва имеет максимальное содержание калия?
8. Какие калийные удобрения используются в России?
9. Каким химическим соединением принято выражать содержание калия в растениях, почвах и удобрениях?
10. Какое удобрение не относится к калийным удобрениям?
11. Какое удобрение не относится к калийным?
12. На каких почвах внесение калийных удобрений целесообразно проводить весной?
13. Назовите бесхлорное калийное удобрение.
14. Назовите наиболее благоприятные условия необменной фиксации калия почвой из удобрений.
15. По какому признаку и на сколько групп классифицируются калийные удобрения?
16. Под какую обработку почвы следует вносить калийные удобрения в основной прием?
17. Укажите виды поглощения почвой калия из внесенных удобрений:
18. Укажите калиелюбивые культуры.
19. Укажите калийное удобрение.
20. Укажите концентрированное калийное удобрение.
21. Укажите один из способов получения хлористого калия?
22. Укажите содержание д.в. (K_2O , %) в хлористом калии (KCl).
23. Укажите сырье для производства калийных удобрений.
24. Укажите хлорофобную культуру, под которую хлористый калий необходимо вносить только осенью
25. Укажите хлорофобные культуры.
26. Укажите цвет хлористого калия.

Глава 6. СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ

6.1. Сера и ее роль в жизни растений

Сера была известна уже в глубокой древности: 2 тыс. лет до н.э. она использовалась в Древнем Египте, Гомер упоминает о сжигании серы для дезинфекции и т.д.

Содержание серы в сухой биомассе растений 0,2-1%.

Роль серы в жизни растений :

- Входит в состав важнейших аминокислот;
- Участвует в азотном, углеводном обмене;
- Важнейший элемент фотосинтеза;
- Вместе с азотом входит в состав белков, когда Соотношение N:S более 15-растение страдает от недостатка серы;
- Участвует в синтезе ферментов, витаминов и масел (у крестоцветных).

Роль в почве Роль в почве Роль в почве Роль в почве Роль в почве
Роль в почве Роль в почве Роль в почве Роль в почве Роль в почве Роль
в почве Роль в почве

Сера в почвах представлена как органическими, так и неорганическими соединениями.

Неорганическая сера в почве представлена сульфатами почвенного раствора, адсорбированными сульфатами, сульфидами и серой минералов. Сульфаты почвенного раствора доступны для растений.

Основным источником серы, поступающей в почвенный раствор, является органическое вещество, в процессе минерализации которого высвобождается данный элемент

В почву сера поступает из атмосферы в составе осадков, пыли и путем адсорбции непосредственно из воздуха, а также за счет высокоминерализованных грунтовых вод и гипса.

Общее содержание серы в почве колеблется от 0,001 до 0,5 %.

Сера – необходимый элемент питания растений. По физико-биохимическому значению она стоит в одном ряду с азотом, фосфором, калием и другими важнейшими элементами [2, 14].

Она входит в состав белков, содержится в таких аминокислотах, как цистин, метионин, витаминах В (тиамин), Н (биотин), чесночном и горчичном масле, является составным элементом некоторых антибиотиков, в частности пенициллина [2, 14].

Факторы риска дефицита серы:

- Избыточные дозы азотных и фосфорных удобрений;
- Высокая концентрация селена;
- Низкая температура;
- Почвы легкого гран. Состава;
- Мало гумусные почвы;

Наибольшая потребность в сере наблюдается у крестоцветных (рапс) масличных, зернобобовых, бобовые, пасленовых, подсолнечника, меньше у зерновых.

Сера присутствует в растениях в виде органических и минеральных соединений. Она составляет около 0,2 – 1 % сухой массы растений. Обычно только небольшое количество этого элемента находится в растениях в минеральной форме, как правило, в виде CaSO_4 . Основная часть серы, поглощенной в виде сульфата, восстанавливается в тканях растений до уровня SH-групп органических соединений.

Процесс восстановления серы происходит в листьях (хлоропластах) и является ключевым в ассимиляции серы. Ее минеральные формы служат резервом серы в растении, но как антагонисты одновалентных ионов участвуют в поддержании тургесцентного состояния плазмы.

Наиболее высокое содержание серы отмечено у семян бобовых культур, а также у растений, содержащих горчичные и луковые масла (капустные, луковые) [53].

По количеству серы, выносимой растениями из почвы (на единицу сухого вещества), семейства располагаются в следующей последовательности (по убывающей):

1. капустные (капуста, брюква);
2. луковые (лук, чеснок);
3. маревые (свекла);
4. зонтичные (укроп);
5. астровые (подсолнечник);
6. бобовые (клевер, люцерна);
7. мятликовые (пшеница, ячмень).

Количество серы, выносимой сельскохозяйственными культурами из почвы, ненамного меньше, чем фосфора, а некоторые культуры потребляют серы больше.

Сера играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, в активировании ферментов, синтезе белков, участвует в

синтезе хлорофилла. Окисленная форма серы – исходный продукт для синтеза белков, она же – конечный продукт их распада [2, 14].

В молодых органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится в основном в восстановленной форме [2, 14]. По мере старения в растениях процессы гидролиза превалируют над синтезом, возрастает количество окисленных форм соединений серы.

Работы последних лет подтвердили участие серы в ассимиляции нитратов растениями. Установлено, что серосодержащие удобрения способствуют сдерживанию накопления нитратов в клубнях картофеля и других культурах.

При недостатке серы задерживается синтез белков, так как затрудняется синтез аминокислот, которые содержат этот элемент.

Поэтому внешние признаки недостатка серы сходны с симптомами азотного голодания растений. Это иногда приводит к ошибочным диагнозам, вследствие чего завышаются дозы азотных удобрений, а из-за этого снижается количество и качество продукции.

В условиях нехватки серы растения приостанавливаются в развитии, уменьшается размер листьев, из-за меньшего образования хлоропластов они приобретают светлую желтовато-зеленую до желтой окраску. Однако, в отличие от азота недостаток серы сказывается большей частью на молодых листьях.

В настоящее время известно положительное влияние серы на величину и качество урожая: повышение содержания белка в зерновых культурах, масличности семян крестоцветных культур и другие. Это связано, прежде всего, с физиологической ролью серы, участием в синтезе незаменимых аминокислот, витаминов, ферментов, углеводном и азотном обмене [2, 14].

В природе сера встречается как в виде элемента, так и органических и неорганических соединений. Залежи серы часто встречаются в районах вулканической активности. Большие ее запасы найдены в Японии, Италии, США.

Источником серы для растений являются в основном соли серной кислоты, присутствующие в почве. В растения она поступает в виде ионов SO_4 из почвы, но может также усваиваться листьями (сернистый газ). Поглощение сернистого газа характерно прежде всего для промышленных районов, где возможно также повреждение растений при слишком высокой концентрации SO_2 в воздухе.

Общее содержание серы в почвах колеблется от 0,001 до 0,1%. Неорганические соединения представлены сульфатами (гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрид CaSO_4) и сульфидами (пирит FeS_2), FeS . Сульфидная сера становится доступной растениям после перехода в сульфатную форму [2, 14].

Запасы доступной растениям сульфатной серы в дерново-подзолистых почвах колеблются от 30 до 90 кг/га [2, 14]. Большая часть серы (от 70 до 90 %) присутствует в почве в виде органических соединений, которые не усваиваются растениями. При минерализации органического вещества сера переходит в сульфатную форму. Содержание сульфатов (как и нитратов) в почве меняется по сезонам.

Больше всего сульфатов в почве летом, когда минерализация (сульфофикация) идет максимально активно. Обычно серы тем больше, чем выше содержание гумуса, много ее и в торфяных почвах. В дерново-подзолистых почвах дефицит серы ощущается на легких малогумусных, а также в переувлажненных почвах.

Таблица 2

Градации по обеспеченности почвы подвижной серой

Пределы	Сера, мг/кг	
	Нижний	Верхний
Очень низкая	<3	<3
Низкая	3	6
Средняя	6	9
Повышенная	9	12
Высокая	12	15
Очень высокая	>15	>15

Симптомы дефицита серы:

- В отличие от азотного голодания при серном желтеют верхние листья растения, которые не опадают, хотя и имеют бледную окраску.
- Самые молодые листья - светло-желтые, жилки бледнее, чем окружающая ткань;
- Стебли перестают расти в толщину, становятся деревянистыми, твердыми;
- Корни белые сильно разветвленные, их кончики отмирают.

6.2. Биогеохимический цикл серы

Сера также является одним из элементов, играющих чрезвычайно важную роль в круговороте веществ биосферы. Сера относится к числу химических элементов, наиболее необходимых для живых организмов. В частности, она является компонентом аминокислот.

Сера предопределяет важные биохимические процессы живой клетки, является незаменимым компонентом питания растений и микрофлоры.

Соединения серы участвуют в формировании химического состава почв, в значительных количествах присутствуют в подземных водах, что играет решающую роль в процессах засоления почв.

Содержание серы в земной коре составляет $4,7 \times 10^{-2}\%$, в почве – $8,5 \times 10^{-2}\%$, в океане – $8,8 \times 10^{-2}\%$. Однако, в засоленных почвах содержание серы может достигать значений, измеряемых целыми процентами. Таким образом, основным резервуаром, из которого она черпается живыми организмами, является литосфера. Это обусловлено тем, что устойчивое существование сернистых соединений в условиях современной атмосферы Земли, содержащей свободный кислород и пары H_2O , невозможно.

Сероводород (H_2S) в кислородной среде окисляется, а кислородные соединения серы, реагируя с H_2O , образуют серную кислоту H_2SO_4 , которая выпадает на поверхность Земли в составе кислотных дождей. Поэтому оксиды серы SO_x , хотя и могут усваиваться растениями непосредственно из атмосферы, существенной роли в круговороте серы этот процесс не играет.

Сера имеет несколько изотопов, из которых в природных соединениях наиболее распространены S^{32} ($>95\%$) и S^{34} ($4,18\%$). В результате биологических и биогеохимических процессов происходит изменение в соотношении этих изотопов в сторону увеличения содержания более легкого изотопа в верхних гумусовых горизонтах почв.

Изотопный состав серы подземных, почвенно-грунтовых вод и водорастворимых сульфатов из горизонта С сульфатно-содовых солончаков является сходным.

В составе земной коры соединения серы существуют, в основном, в двух минеральных формах: сульфидной (соли сероводородной кислоты) и сульфатной (соли серной кислоты). Редко встречается са-

мородная сера, которая неустойчива и склонна, в зависимости, от значений окислительно-восстановительного потенциала среды, формировать или кислородные, или водородные соединения.

Первичной, глубинной по происхождению, минеральной формой нахождения серы в земной коре, является сульфидная.

Сульфидные соединения в условиях биосферы практически не растворимы, и потому сульфидная сера растениями не усваивается. Но, в то же время, сульфиды в кислородной среде неустойчивы. Поэтому сульфиды на земной поверхности, как правило, окисляются, и в результате этого сера входит в состав сульфатных соединений.

Сульфатные соли обладают достаточно хорошей растворимостью, и сера в географической оболочке активно мигрирует в водных растворах в составе сульфат-иона SO_4^{2-} .

Именно в этой, сульфатной форме сера, в составе водных растворов, эффективно усваивается растениями, а далее – животными организмами. Усвоению способствует то, что сульфатные соединения серы способны накапливаться в почвах, участвуя в процессах обменной сорбции и входя при этом в состав почвенного поглощающего комплекса (ППК).

Разложение органического вещества в кислородной среде приводит к возвращению серы в почву и природные воды. Сульфатная сера мигрирует в водных растворах, и может снова использоваться растениями. Если же разложение идёт в бескислородной среде, ведущую роль играет деятельность серобактерий, которые восстанавливают SO_4^{2-} до H_2S .

Сероводород выделяется в атмосферу, где окисляется и возвращается в другие компоненты биосферы в сульфатной форме. Часть серы в восстановительной обстановке может связываться в сульфидных соединениях, которые, при возобновлении доступа кислорода, снова окисляются и переходят в сульфатную форму [31].

Биогеохимический цикл серы состоит из 4 стадий (рис. 6.1.):

1. Усвоение соединений серы живыми организмами (растениями и бактериями) и включение серы в состав белков и аминокислот.
2. Превращение органической серы живыми организмами (животными и бактериями) в конечный продукт – сероводород.
3. Окисление минеральной серы живыми организмами (серобактериями, тионовыми бактериями) в процессе сульфатредукции. На этой

стадии происходит окисление сероводорода, элементарной серы, ее тио- и тетрасоединений.

4. Восстановление минеральной серы живыми организмами (бактериями) в процессе десульфификации до сероводорода. Таким образом, важнейшим звеном всего биогеохимического цикла серы в биосфере является биогенное образование сероводорода.



Рис.6.1. Схема биогеохимического цикла серы

Изъятие серы из биосферного круговорота происходит в результате накопления сульфатных отложений (в основном гипсовых), слои и линзы которых становятся компонентами литосферы.

Компенсируются потери, во-первых, в процессах вулканизма (поступление H_2S и SO_x в атмосферу, а оттуда, с атмосферными осадками – на поверхность Земли). А во-вторых, в результате деятельности термальных вод, с которыми в верхние горизонты земной коры и на дно Мирового океана поступают сульфидные соединения [10].

Таким образом, к характерным особенностям круговорота серы можно отнести второстепенную роль процессов атмосферной миграции, а также многообразие форм нахождения, обусловленное переходом её из сульфидных форм в сульфатные и обратно, в зависимости от изменения окислительно-восстановительных условий.

Промышленные процессы выносят в атмосферу большое количество серы. В отдельных случаях значительная концентрация соединений серы в воздухе служит причиной нарушений в окружающей среде, в том числе, кислотных дождей.

Присутствие в воздухе двуокиси серы негативно влияет как на высшие растения, так и на лишайники, причем эпифитные лишайники могут служить индикаторами повышенных содержаний серы в воздухе. Лишайники поглощают влагу из атмосферы всем слоевищем, поэтому концентрация серы в них быстро достигает предельно допустимого уровня, что ведет к гибели организмов.

Поступление серы в общий круговорот по данным Дж. П. Френда следующее: при дегазации земной коры – 12×10^{12} г/год; при выветривании осадочных пород – 42×10^{12} г/год, антропогенные поступления в виде сернистого газа – 65×10^{12} г/год, что в сумме составляет 119×10^{12} г/год.

Значительные количества серы ежегодно консервируются в виде сульфидов и сульфатов – 100×10^{12} г/год и, таким образом, временно выводятся из общего биогеохимического круговорота.

Таким образом, антропогенное поступление серы в биосферу существенно изменяет круговорот этого элемента, а приход серы в биосферу превышает ее расход, в результате чего, должно происходить постепенное ее накопление [2].

6.3. Применение серосодержащих удобрений

Для определения потребности почвы в серосодержащих удобрениях можно использовать группировку почв по содержанию подвижной сульфатной серы. В зависимости от степени обеспеченности серой дерново-подзолистые и торфяные почвы разделены на четыре группы.

Количество доступных для растений сульфатов зависит от многих условий: темпов минерализации гумуса и разложения минеральных соединений серы с навозом, минеральными удобрениями и осадками, а также от сорбционных.

Определение содержания сульфатной серы в почве является оправданным при проведении агрохимического обследования почв как одного из параметров прогнозирования величины и качества урожая и эффективности серосодержащих удобрений.

Однако эффективность серосодержащих удобрений не всегда коррелирует с содержанием сульфатной серы в почве. Для прогноза эффективности серосодержащих удобрений необходим учет комплексных факторов включая биологические особенности сельскохозяйственных культур, степень окультуренности почв, концентрация и соотношение Ca^{2+} : Mg^{2+} , сбалансированность доз удобрений и другие [42].

Сера поступает в почву из атмосферы, с органическими и минеральными удобрениями. С атмосферными осадками и семенами в почву попадает 12,4 кг/га, а на территориях, примыкающих к промышленным центрам, – до 16–45 кг/га серы.

Такой источник серы, как минеральные удобрения (простой суперфосфат, сульфат аммония, сульфат калия), в последние годы резко уменьшился (из-за увеличения доли концентрированных и комплексных удобрений и сокращения – сульфата аммония) и дает не больше 10,9 кг/га серы в год.

Резко снизилось и поступление серы с органическими удобрениями (около 1,1 кг/га в год). Однако сера в органических удобрениях прочно связана с углеродом и азотом и ее среднегодовая минерализация не превышает 2%.

В дальнейшем поступление серы в почву будет уменьшаться по мере сокращения применения минеральных удобрений, содержащих серу как сопутствующий элемент, совершенствования очистных сооружений промышленных предприятий и проведения других мероприятий по охране окружающей среды. Это не может не сказаться на количестве и, особенно, качестве растениеводческой продукции.

Поэтому необходимы контроль за обеспечением сельскохозяйственных культур серой и применение серосодержащих удобрений.

Химическая промышленность не выпускает специальных удобрений, содержащих серу. Но она в качестве примеси содержится во многих удобрениях.

В качестве серосодержащего удобрения используется фосфогипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – отход производства фосфорной кислоты экстракционным методом. Образуется он в результате разложения апатитов или фосфоритов серной кислотой. Сухой фосфогипс содержит 17–22 % S, 31,5–37,2 % CaO , 0,5–3,5 % P_2O_5 , 0,1–0,4 % фтора [2, 14].

Простой суперфосфат в виде примесей содержит 9–13 % серы, сульфат аммония – 23–24, сульфат калия – 17–18, сульфат магния – 18,6, сульфат натрия – 22,6, каинит – 13, калимагнезия – 15, гипс – 18–20, сланцевая зола – 1,6–2,9, цементная пыль – 1, навоз – 0,02–0,06, торф – 0,1–0,3 %, аммонизированный суперфосфат – 25 % SO_3 [2, 14].

Контрольные вопросы

1. Сера и ее роль в жизни растений
2. Каково значение серы в жизни растений?
3. В виде каких соединений используется сера растениями?
4. Каков баланс серы в земледелии?
5. Назовите серосодержащие удобрения.
6. Какие культуры наиболее чувствительны к недостатку серы?
7. В каких дозах применяют серосодержащие удобрения?

Глава 7. МИКРОУДОБРЕНИЯ

7.1. Значение микроэлементов

Микроэлементы – это необходимые элементы питания, находящиеся в растениях в тысячных-стотысячных долях процента [2, 14].

Растения не могут нормально развиваться без микроэлементов. Микроэлементы входят в состав важнейших физиологически активных веществ и участвуют в процессах синтеза белков, углеводов, витаминов, жиров [2, 14].

Под влиянием микроэлементов улучшается процесс фотосинтеза, транспорта ассимилятов, происходит процесс фиксации атмосферного азота и восстановления нитратов в растениях. Они положительно влияют на развитие семян и их посевные качества [2, 14].

Под влиянием микроэлементов растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным условиям атмосферной почвенной засухи, пониженным и повышенным температурам, поражению вредителями и болезнями. В результате применения микроэлементов в некоторых случаях удается сократить сроки созревания сельскохозяйственных культур [2, 14].

Оптимизация питания растений, повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов [2, 14].

Причем это важно не только для роста урожая, но и повышения качества продукции растениеводства и животноводства. Следует учитывать также и то, что новые высокопродуктивные сорта имеют интенсивный обмен веществ, который требует достаточной обеспеченности всеми элементами питания, включая и микроэлементы [2, 14].

Интенсификация земледелия усиливает потребность в микроэлементах, что связано с ростом урожайности сельскохозяйственных культур и увеличением выноса ими микроэлементов [2, 14].

Потребность в микроудобрениях растет и в связи с ростом применения концентрированных минеральных удобрений, лучше очищенных, в которых микроэлементы содержатся в незначительных количествах. Это не обеспечивает восполнение расхода микроэлементов. Снизилось в последние двадцать лет и применение органических удобрений, которые являются также источником микроэлементов [2, 14].

Особенно сильно потребность в микроудобрениях возрастает при внесении повышенных доз азота, фосфора и калия. Это связано с тем, что при внесении высоких доз фосфора уменьшается доступность растениям цинка, калия – бора, азотных – меди, молибдена. Известкование снижает доступность многих микроэлементов [2, 14].

На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. При применении микроудобрений существенно улучшается и качество продукции, так как они положительно влияют на накопление белков и углеводов [2, 14].

Микроэлементный состав сельскохозяйственной продукции – важный показатель ее биологической ценности. Отклонения содержания микроэлементов от оптимального в сторону уменьшения или увеличения оказывает влияние на состояние здоровья человека и животных [2, 14].

Несбалансированность элементного состава кормов и пищевых продуктов по микроэлементам приводит к нарушению минерального обмена, что является причиной и стартовым механизмом возникновения многих заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых, онкологических и других [2, 14].

Имеющиеся данные указывают на то, что необходимо обратить внимание на нормирование питания человека по цинку, меди и селену.

Систематическое потребление этих микроэлементов с пищей и лекарственными препаратами в будущем станет одним из путей профилактики ишемической болезни и атеросклероза [2, 14].

Имеются сведения о положительном влиянии кобальтовых добавок на сопротивляемость раковой агрессии [2, 14].

Таким образом, содержание микроэлементов в растениеводческой продукции имеет большое значение для здоровья человека и сельскохозяйственных животных, и задача агрохимиков с помощью микроудобрений получать продукцию с оптимальным содержанием микроэлементов [2, 14].

Очень часто в растениеводческой продукции недостает селена, который необходим для человека. Опыты с овощными культурами показали, что можно оптимизировать содержание этого элемента в овощной продукции с помощью некорневых подкормок [2, 14].

Необходимое в некоторых случаях снижение содержания микроэлементов в растениеводческой продукции может быть достигнуто путем известкования почвы [2, 14].

Таким образом, агрохимическими приемами можно регулировать содержание микроэлементов, доводя их до оптимального (а в определенных случаях до заданного уровня) в пищевых продуктах на основе диетологических и медицинских рекомендаций [2, 14].

К сожалению, применение микроудобрений в последнее время было крайне ограничено. Отсюда стоит вопрос их рационального использования. Рациональное использование микроудобрений, как и макроудобрений, в хозяйствах должно быть обеспечено только на основе крупномасштабных карт содержания микроэлементов в почвах хозяйств [2, 14].

Применение микроудобрений является важным элементом высокой культуры земледелия. Поэтому вносить их в первую очередь следует при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям с высоким уровнем планируемых урожаев, а также на почвах с низким содержанием микроэлементов [2, 14].

Основными источниками поступления микроэлементов в почву являются материнские почвообразующие породы. Чем больше микроэлементов в материнской породе, тем, как правило, больше их в почве [2, 14]. Принято различать общее количество микроэлементов в почве и содержание их в доступных растениям формах.

Количество доступных растениям микроэлементов определяется по их содержанию в почвенном растворе (или различных вытяжках). В почвообразующих породах с увеличением содержания частиц физической глины растёт количество микроэлементов [22].

Содержание микроэлементов увеличивается с накоплением в почве органического вещества. Внесение навоза, компостов и других органических удобрений обогащает почву не только макро-, но и микроэлементами.

В настоящее время для сельскохозяйственного производства наиболее важными микроэлементами являются медь, бор, цинк, молибден и марганец [2, 14].

Оптимизация питания растений, повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов [2, 14].

Дефицит микроэлементов в почве может снижать эффективность применения макроудобрений. Объясняется это тем, что недостаток микроэлементов приводит к нарушению важнейших биохимических процессов в организме растений.

Микроэлементы создают комплексные соединения с большим количеством органических веществ и улучшают энергетическую сторону передвижения веществ.

Физиологическая роль микроэлементов заключается в том, что они принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обмене, повышают интенсивность фотосинтеза, устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам внешней среды, регулируют водный режим растений.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах служит основой для разработки технологий применения микроудобрений в конкретных условиях. Недостаточное содержание их подвижных форм в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая сельскохозяйственных культур и качества продукции.

Значимость проблемы микроэлементного питания растений определяется также дефицитом микроэлементов в кормах. При научно обоснованном применении микроэлементов с учетом содержания микроэлементов в почве и отзывчивости сельскохозяйственных культур прибавка от них достигает 10-15%, улучшается качество продукции [3].

В настоящее время ведется агрохимическое картирование на содержание в почвах микроэлементов (бора, меди, цинка и марганца). Разработана группировка обеспеченности дерново-подзолистых и торфяных почв этими микроэлементами [8].

Запасы подвижных форм микроэлементов изменяются не только по годам, но и в течение вегетационного периода под влиянием увлажнения и других факторов.

Роль микроэлементов все более возрастает в условиях интенсивного земледелия. С увеличением значения рН снижается подвижность ряда микроэлементов, а повышенный уровень азотного и фосфорного питания способствует снижению содержания меди и цинка в растениях.

Перспективным направлением при применении микроудобрений является использование комплексонатов (хелатов) и многокомпонентных удобрений, содержащих ряд микроэлементов (Zn, Cu, B, Mo, Co, Mn).

Хелаты – это внутрикомплексные соединения металлических микроэлементов с органическими веществами. Очень распространенным агентом является этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), применяется также диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА), оксиэтилендифосфоновая кислота (ОЭДФ) и ряд других.

Этот прием позволяет перевести содержащиеся в удобрениях микроэлементы в биологически активные формы. Предпочтительные способы внесения комплексонатов микроэлементов опрыскивание посевов и обработка семян. Исследованиями было показано более высокое использование микроэлементов из хелатов по сравнению с их сернокислыми солями [49].

Комплексонаты микроэлементов положительно влияют на всхожесть семян, высоту растений, количество листьев и завязей.

7.2. Борные удобрения

Бор играет важную роль в жизни растений. Он улучшает углеводный обмен, влияет на белковый и нуклеиновый обмен. При его недостатке нарушается синтез, превращение и передвижение углеводов, формирование репродуктивных органов [2, 14].

Содержание бора в растении 0,0001%

Роль в растении

- Регулирует деятельность репродуктивных органов (опыление и оплодотворение, увеличивает количество цветков и плодов, способствует созреванию семян);
- Повышает устойчивость клеточных стенок;
- Нейтрализует токсическое действие фенолов, которые замедляют ростовые процессы;
- Участвует в синтезе нуклеиновых кислот и белков;
- Отвечает за отток углеводов из листьев в корни;
- Улучшает снабжение корневой системы кислородом;
- Способствует усвоению кальция (оптимум Са:В для сахарной свеклы - 100, сои-500);

Факторы риска дефицита

- Засуха (растворимость бора уменьшается);
- Избыточная влажность (соли бора вымываются из почвы);
- Известкованные, сильно щелочные и кислые почвы;
- Изобилие N и K;

Потребность в боре возрастает в период бутонизации и цветения. Бор необходим для развития меристемы. Бор активизирует ряд ферментов и способствует прорастанию пыльцы, увеличению количества цветков и плодов.

При недостатке бора нарушается процесс созревания семян. Считается, что основная физиологическая роль бора заключается в участии в обмене ауксионов и фенольных соединений. Регулирование количества ауксионов и фенолов, по-видимому, является основной физиологической функцией бора [2, 14].

Бор необходим растениям в течение всей жизни. Среднее содержание бора в растениях 1 мг/кг сухой массы. Он не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке особенно страдают молодые растущие органы. Происходят заболевание и отмирание точек роста [2, 14].

Симптомы дефицита

- Бор не реутизируется (не может передвигаться из старых листьев в молодые), поэтому в первую очередь страдают точки роста;
- Прекращается доминирующее развитие центрального побега;
- Ненормально разрастаются боковые побеги, проявляется кустовидность, разетчатость;

- Опадают завязи;
- Цветков и плодов мало или нет совсем;
- Пустозерность;
- Поражение сухой гнилью и дуплистостью у корнеплодов, бобовые желтеют, лен поражается бактериозом, у подсолнечника отмирает точка роста, листья коричневеют;

При недостатке бора лен поражается бактериозом (кальциевым хлорозом), что резко снижает урожай и качество волокна. У сахарной и кормовой свеклы дефицит бора вызывает поражение гнилью сердечка и появление дуплистости корнеплодов [2, 14].

Недостаток бора вызывает поражение паршой картофеля, у бобовых культур нарушается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотическая фиксация азота, замедляется рост и формирование репродуктивных органов, у плодовых культур появляется суховершинность, развиваются наружная пятнистость и опробкование тканей плодов [2, 14].

Особенно большую роль играет бор на известкованных дерново-подзолистых почвах, так как известкование уменьшает доступность бора, закрепляет его в почве и задерживает поступление в растения. Усиливают потребность в боре и повышенные дозы калийных удобрений [2, 14].

Более отзывчивы на бор сахарная свекла, кормовые корнеплоды, лен, клевер, люцерна, гречиха, горох, подсолнечник, кукуруза, овощные и плодово-ягодные культуры, менее – все зерновые культуры [2, 14].

Избыток бора вызывает у растений токсикоз, при этом бор прежде всего накапливается в листьях. Наблюдается своеобразный ожог нижних листьев, появляется краевой некроз, листья желтеют, отмирают и опадают [2, 14].

Значительная часть бора в почвах связана с органическим веществом. Борорганические соединения в дерново-подзолистых, торфяных и других почвах играют очень важную роль в определении борного режима почвы [2, 14].

Источником бора для растений являются органические удобрения. При внесении повышенных доз органических удобрений потребность растений в микроэлементах в значительной мере удовлетворяется [2, 14].

Борная кислота (H_3BO_3) – мелкокристаллический порошок белого цвета. Содержит 17,3 % бора, хорошо растворима в теплой воде. Ее применяют для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок [2, 14].

Наиболее эффективным способом применения микроудобрений являются некорневые подкормки, так как они позволяют обеспечить растения микроэлементами тогда, когда в них ощущается максимальная потребность [2, 14].

7.3. Медные удобрения

Физиологическая роль меди в растениях в значительной мере определяется вхождением ее в состав медьсодержащих белков и ферментов (цитохромоксидазы, полифенолоксидазы, аскорбинатоксидазы, нитритредуктазы, гипонитритредуктазы, тирозиназы, редуктазы, оксида азота и др.). Она играет важную роль в окислительных процессах, дыхательных, в образовании хлорофилла, азотном, углеводном и белковом обмене, активизирует фотосинтез [2, 14].

Среднее содержание меди в растениях 0,0002% или 2 мг на 1 кг массы.

Роль в растении

- Входит в состав ферментов, участвующих в фотосинтезе, образовании белков, углеводов, лигнина, ростовых веществ-ауксинов;
- Повышает засухо и морозоустойчивость культур;
- Повышает устойчивость к грибным и бактериальным болезням, к полеганию;
- Входит в состав ферментов, участвующих в азотфиксации клубеньковыми бактериями.
- Повышает количество зерен в колосе.

Факторы риска дефицита

- Известкованные почвы (особенно при внесении полной дозы извести);
- Высокое содержание органического вещества и карбонатов;
- Кислые и песчаные почвы, торфяники;
- Высокие концентрации NH_4 , P, Zn и закисного железа (FeO);
- Жаркая погода;
- Высокое содержание тяжелых металлов.

При внесении высоких доз азота потребность в меди возрастает. Установлено, что между медью и фосфором существует антагонизм в корневой системе, поскольку фосфаты обладают большой способностью к адсорбции меди.

В растительной клетке около 2/3 меди находится в нерастворимом, связанном состоянии. Медь поглощается как катион Cu^{2+} или в форме хелатных соединений через корни и листья. Она обладает меньшей подвижностью в растениях по сравнению с другими элементами, большей частью оставаясь в тканях корней.

Под влиянием меди (так же, как и бора) ускоряется созревание урожая, интенсифицируются защитные свойства растений, снижается вероятность заболевания мучнистой росой, фитофторозом, паршой, пятнистостью листьев, черной ножкой [2, 14].

Симптомы дефицита

- У двудольных- свертывание молодых листьев (картофель, свекла, гречиха, подсолнечник соя и др);
- Замедление роста, хлороз;
- Цветение задерживается;
- Потеря тургора, увядание;
- У злаков - усиление кущения и бледно-зелёная окраска, побледнение кончиков («белая чума»);
- У плодовых- суховершинность

Хороший уровень обеспечения медью повышает устойчивость растений к различным видам головни, полеганию, способствует увеличению засухо-, -морозо- и жароустойчивости растений [2, 14].

Бедны медью торфяные почвы. Медь сравнительно мало распространена в природе. Она находится преимущественно в соединениях с серой, железом, кислородом [2, 14].

Медь входит в состав более двухсот минералов (медный колчедан, медный блеск, малахит, лазурит и др.) [2, 14].

Медь находится в почвенном растворе в поглощенном органическими и минеральными коллоидами состоянии (в обменной и необменной формах), в виде труднорастворимых солей и гидратов оксидов меди, металлоорганических комплексов и как составная часть некоторых минералов. В торфяных почвах медь содержится в малодоступных для растений металлоорганических соединениях, и здесь медные удобрения проявляют особо высокое действие [2, 14].

Потребность в меди снижается при применении органических удобрений.

Под влиянием известкования снижается подвижность меди, поэтому на нейтральных и слабощелочных почвах растения испытывают недостаток меди. Возрастает потребность в меди и в условиях применения повышенных доз азотных удобрений [2, 14].

Содержание меди в растениях определяется рядом факторов, важнейшими из которых являются биологические особенности самого растения и содержание подвижной меди в почве. Особенно чувствительны к недостатку меди овес, ячмень и пшеница [2, 14].

При недостатке меди в кормах животные сильно худеют, шерсть у них, как и при сухотке, становится включенной, рост молодняка замедляется. Животные теряют аппетит и усиленно лижут всевозможные несъедобные предметы. В связи с этим медная болезнь получила название лизухи [2, 14].

Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$. Содержит 23,4 – 24,9% Cu. Это кристаллический порошок серо-голубого цвета, хорошо растворимый в воде. Медный купорос широко применяется для обработки семян и некорневых подкормок сельскохозяйственных культур. Эффективность некорневых подкормок зерновых культур медью особенно возрастает в засушливые годы.

7.4. Цинковые удобрения

Цинк входит в состав 30 ферментов (карбоангидразы, многих дегидрогеназ, щелочной фосфатазы и др.) и принимает участие в белковом, фосфорном обмене, синтезе аскорбиновой кислоты, тиамина и ростовых веществ, повышает водоудерживающую силу растений [2, 14].

Цинковое голодание приводит к нарушению углеводного обмена, задерживает образование сахарозы, крахмала и хлорофилла [2, 14].

Содержание цинка в растениях составляет 15-60 мг/кг сухой массы [2, 14].

Роль в растении [2, 14]:

- Активирует около 13 окислительно-восстановительных ферментов;

- Участвует в синтезе хлорофилла, РНК, белка, ауксинов и углеводов;
- Усиливает азотный и белковый обмен;
- Повышает синтез сахаров, сухого вещества и аскорбиновой кислоты;
- Повышает водоудерживающую способность клеток и повышает их засухо- и холодоустойчивость;
- Регулирует фосфорный обмен;
- Влияет на скорость деления клеток.
- Повышает зернообразование.

Факторы риска дефицита

- Нейтральные и карбонатные почвы (рН 5,5-7,5 соли цинка наименее растворимы);
- Почвы легкого гран. Состав;
- Низкое содержание органического вещества;
- Торфяные почвы;
- Высокое содержание фосфора (а также при внесении более 120 кг.дв. фосфорных удобрений);
- Избыток меди;
- Низкая и высокая температура;
- Уплотненные почвы.

Наиболее чувствительны к недостатку цинка кукуруза, лен, плодовые и бобовые культуры. У яблони, вишни, абрикоса при недостатке цинка наблюдается мелколистность и розеточность [2, 14].

Цинк широко распространен в природе и входит в состав 64 минералов, из которых наибольшее практическое значение имеют сфалерит, цинкит, смитсонит [2, 14].

Меньше всего цинка содержится в нейтральных дерново-подзолистых почвах, кислые дерново-подзолистые почвы обычно отличаются повышенным содержанием подвижного цинка [2, 14].

Содержание подвижного цинка в почвах снижается под влиянием известкования и внесения повышенных доз фосфорных удобрений. Снижение подвижности цинка при внесении фосфорных удобрений связано с образованием в почве труднорастворимых фосфатов цинка. Низкое содержание подвижного цинка отмечается и в почвах, богатых фосфором [2, 14].

Недостаток цинка у животных наблюдается при содержании его в корме менее 25 – 30 мг/кг. При этом у молодых животных наблюдается замедление роста, развитие кожных болезней и выпадение шерсти, а у взрослых – истощение, общее ослабление организма и возникает бесплодие. Оптимальное содержание цинка в кормах 31–40 мг/кг сухого вещества [2, 14].

Цинк является тяжелым металлом и его избыток оказывает токсическое действие на растения [2, 14].

Наиболее распространенным цинковым удобрением является **серноокислый цинк** $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, содержащий 21 – 23 % цинка. Однако в связи с дороговизной и недостатком микроудобрений в первую очередь следует предусмотреть некорневые подкормки серноокислым цинком посевов кукурузы и льна [2, 14].

Симптомы дефицита

- Резко тормозится формирование побегов;
- Уменьшается содержание сахарозы и крахмала;
- Хлоротичные пятна на краях листьев, которые распространяются к жилке, при усилении недостаточности- весь лист становится желтым или белым, признаки быстро распространяются;
- Г олодание сильно выражено после распускания листьев;
- Растения вегетируют, но не плодоносят;
- Укороченные междоузлия, розетчатость, мелколистность;
- Листья и черешки бывают скрученные

7.5. Молибденовые удобрения

Молибден является необходимым компонентом всех растительных и животных организмов.

Содержание Мо в растениях может варьировать в интервале 0,1-300 мг на 1 кг сухой массы [2, 14].

Роль в растении

- Принимает участие в фиксации атмосферного азота в клубеньках бобовых;
- Входит в состав фермента нитратредуктазы, которая восстанавливает нитраты в нитриты (предотвращает их накопление в тканях растений);
- Участвует в азотном, фосфорном и углеводном обмене;

- Регулирует процессы фотосинтеза и образования нуклеиновых кислот;

Факторы риска дефицита

- Кислые почвы (наибольшая доступность молибдена при pH 5,5-7,5)

- Внесение высоких доз физиологически кислых удобрений и нитратного азота;

- Почвы легкого гран. состава;

- Высокое содержание органического вещества, избыток Mn, Cu, Fe, SO₄.

Молибден входит в состав фермента нитратредуктазы, участвует в восстановлении нитратов в растениях. Он входит также в фермент нитрогеназу, участвующую в фиксации атмосферного азота микроорганизмами как свободноживущими (азотобактер и др.), так и клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых культур [2, 14].

При недостатке молибдена тормозится процесс восстановления нитратов в растениях, замедляется биосинтез аминокислот, амидов, белков и в растениях в повышенных количествах накапливаются нитраты. Это приводит не только к снижению урожая, но ухудшению его качества [2, 14].

Молибден входит в состав хлоропластов, участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, образовании пигментов и витаминов.

Растения поглощают молибден в форме молибдата (MoO₄)⁻. Конкуренция со стороны ионов SO₄⁻ может препятствовать, а присутствие ионов фосфора способствует поглощению молибдена. Молибден может поглощаться растениями также через листья. Особенно чувствительны к недостатку молибдена крестоцветные и бобовые культуры.

Молибден находится в почве в виде водорастворимых или связанных соединений. Его подвижность зависит от степени разрушения первичных и вторичных минералов. Часть молибдена удерживается в обменной форме почвенными коллоидами. Некоторое количество молибдена закреплено и в органических соединениях, минерализация которых способствует переходу его в подвижные формы [2, 14].

Растениям доступна лишь незначительная часть общего количества молибдена, поэтому важно учитывать содержание его подвижных форм, доступных для растений [2, 14].

В кислых почвах молибден образует труднодоступные для растений соединения с железом, алюминием и марганцем. Известкование кислых почв способствует мобилизации почвенного молибдена, а значит, и потребность в нем резко уменьшается. Вынос молибдена увеличивается при внесении молибдена и повышенных доз фосфора [2, 14].

Наиболее распространенным молибденовым удобрением является **молибденовокислый аммоний** $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, содержащий 50 – 52 % Мо [2, 14].

Симптомы дефицита

- Ухудшение развития клубеньков, они развиваются слабо и имеют желтый или серый цвет (нормальный цвет-красный);
- Нарушение азотного и водного обмена;
- Симптомы схожи с дефицитом азота, но проявляются на верхних листьях.
- Появление расплывчатых желтых пятен, посветление окраски молодых листьев, особенно у центральной жилки;
- Снижение тургора краев листьев, посветление и в дальнейшем их некроз, искривление листовых пластин;
- Нарушается формирование цветков - они мельчают, не раскрываются, деформируются и становятся рыхлыми;
- Возможно отмирание точек роста
- Иногда листовая пластина отсутствует совсем-остается только центральная жилка (симптом «хлыста»);
- Азот плохо поступает к репродуктивным органам-снижается урожай.

7.6. Кобальтсодержащие удобрения

Кобальт необходим для растительных и животных организмов. Он входит в состав витамина B₁₂, многих ферментов [2, 14].

Содержание Со в растениях в среднем составляет 0,00002% и колеблется от 0,021 до 11,6 мг на 1 кг сухой массы [2, 14].

Роль в растении

- Входит в состав витамина B₁₂, который положительно влияет на клубеньки бобовых и азотфиксацию;

- Повышает активность ферментов, участвующих в азотном обмене;
- Способствует насыщению листа хлоропластами, повышает устойчивость хлорофилла;
- Способствует раннему цветению и сокращению вегетационного периода растений;
- Связан с гормональным балансом клетки в звене ауксин-этилен (гормон роста);
- Способствует эффективному поглощению N,P,K,Mn;
- Повышает содержание аскорбиновой кислоты, сахаров, жира, белка с гектара.

Факторы риска дефицита

- Известкованные почвы;
- Торфяники и дерновые почвы;
- Супесчаные и песчаные почвы;
- При содержании гумуса менее 2%.

Содержание кобальта колеблется в растениях от 0,021 до 11,6 мг/кг сухой массы. Значительное количество кобальта находится в бобовых, где он сосредоточен в клубеньках. В растениях около 50 % кобальта находится в ионной форме, около 20 % – в форме кобамидных соединений и в составе витамина B₁₂. [2, 14].

Кобальт относится к металлам с переменной валентностью, что определяет высокое значение окислительно-восстановительного потенциала для системы $\text{Co}^{3+} - \text{Co}^{2+}$ в кислой среде и позволяет принимать активное участие в реакциях окисления-восстановления [2, 14].

Установлена связь кобальта с ауксиновым обменом и отмечается, что он способствует растяжению клеточных оболочек [2, 14].

Кобальтат изменяет ультраструктуру азотфиксирующего аппарата и бактериоиды активнее функционируют [2, 14].

Одной из сторон действия кобальта на азотфиксацию является его участие в биосинтезе леггемоглобина. Кобальт повышает активность дегидрогеназ, гидрогеназы, нитратредуктазы, способствует увеличению содержания хлорофилла [2, 14].

Применение кобальта позволяет оптимизировать его содержание в растениеводческой продукции, что повышает ее диетическую ценность [2, 14].

При содержании кобальта в кормах менее 0,07 мг/кг сухого сена животные заболевают акабальтозом. Поэтому необходимо применять кобальтосодержащие удобрения на лугах и пастбищах в районах кобальтовой недостаточности [2, 14].

Основным кобальтосодержащим удобрением является **сернокислый кобальт** $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 20–21 %Co и хлористый кобальт CoCl_2 – 46–47 % Co. Применяют под зернобобовые культуры, сахарную свеклу, картофель, многолетние травы [2, 14].

Симптомы дефицита

- Симптомы сходны с недостатком азота, но проявляются на верхних листьях;
- Внешние признаки в основном проявляются на бобовых растениях;
- Межжилковый хлороз листьев;
- Высокая стерильность цветков и низкая продуктивность растений.

7.7. Марганцевые удобрения

Марганец необходим всем растениям. Марганец относится к металлам с высоким окислительно-восстановительным потенциалом и может участвовать в реакциях биологического окисления. В настоящее время известно около 30 металлоферментных комплексов, активируемых марганцем [2, 14].

Среднее содержание Mn в растениях составляет 0,001%, или 10 мг на 1 кг массы.

В основном сосредоточен в листьях и хлоропластах.

Роль в растении

- Активирует ферменты Цикла Кребса (белки жиры углеводы превращает в CO_2 , а воду в энергию);
- Поддерживает структуру хлоропластов (без него хлорофилл разрушается на свету);
- Способствует оттоку сахаров из листьев;
- Участвует в восстановлении нитратов до аммиака;
- Способствует накоплению витамина C;
- Способствует устойчивости растения к неблагоприятным факторам среды;

Факторы риска дефицита

- Нейтральные, карбонатные, известкованные почвы ($pH_{\text{сол}} > 5,8$) (переводится в труднодоступную форму);
- Почвы с высоким содержанием органического вещества, торфяные почвы;
- Низкая интенсивность освещения;
- Высокое содержание P, Fe, Cu, Zn в почве (антагонизм).

Марганец способствует избирательному поглощению ионов из внешней среды, повышает водоудерживающую способность тканей, снижает транспирацию, влияет на плодоношение растений [2, 14].

Марганец входит в состав следующих ферментов:

1. гидроксиламинредуктазы,
2. глутаминтрансферазы,
3. изоцитратдегидрогеназы,
4. малатдегидрогеназы,
5. ферредоксина.

Марганец увеличивает содержание сахаров, хлорофилла, прочность его связи с белком, улучшает отток сахаров, усиливает интенсивность дыхания. Он играет большую роль в активировании многих реакций, в том числе реакциях превращения ди- и трикарбоновых кислот, образующихся в процессе дыхания. Предполагают, что марганец входит в состав фермента, синтезирующего аскорбиновую кислоту.

Симптомы дефицита

- Проявляются на молодых листьях, т.к. малоподвижен;
- У двудольных культур - точечных хлороз листьев, между жидками молодых верхушечных листьев проявляются желтые пятна, но жилки остаются зелеными, крапинки переходят в некрозы, коричневеют и отмирают, листья опадают, рост задерживается, но точка роста (как при нехватке бора) не отмирает;
- У однодольных культур (злаки) - молодые листья становятся светло-зелеными, в нижней части листа появляются серые, серо-зеленые или бурые пятна с темным окаймлением (чего нет при дефиците железа) («серая пятнистость», «бурый вилт»);

В клетках растений, благодаря наличию восстановительных систем, накапливается в основном закисное железо, а марганец, обладающий более высоким окислительным потенциалом, способствует его окислению. При недостатке марганца уже небольшое количество закисного железа может быть токсичным для растений, а при избытке,

железо иммобилизируется в виде окисного органо-фосфорного железа, что ведет к проявлению симптомов его недостатка в виде хлороза листьев.

Окислительное действие марганца не ограничивается повышением активности окислительных ферментов, он также способствует накоплению в растениях продуктов окисления, в частности, аскорбиновой кислоты. Кроме того, марганец способствует повышению уровня усвоения азота, при этом на фоне нитратного азота он ведет себя как восстановитель, а на фоне аммиачного – как сильный окислитель [27].

В схеме восстановления в растении нитратов до аммиака: нитрат → нитрит → гипонитрит → гидроксиламин → аммиак отсутствие марганца подавляет активность гидроксиламиноредуктазы, фермента, катализирующего восстановление гидроксиламина до аммиака, что останавливает преобразование нитратов и подчеркивает связь этого элемента с ассимиляцией азота растениями [38].

При исключении марганца из питательной среды в тканях растений повышается концентрация основных элементов минерального питания, нарушается соотношение элементов в питательном балансе. Имеются данные о положительном влиянии марганца на передвижение фосфора из стареющих нижних листьев к верхним и к репродуктивным органам.

Марганец повышает водоудерживающую способность тканей, снижает транспирацию, влияет на плодоношение растений. Особенно требовательны к достаточному содержанию доступных форм марганца в почве злаки, свекла, кормовые корнеплоды, картофель.

Марганец ускоряет развитие растений. При недостатке этого элемента наблюдаются хлорозы, серая пятнистость злаков, пятнистая желтуха сахарной свеклы.

Сульфат марганца ($MnSO_4 \times 5H_2O$) – мелкокристаллическая соль белого цвета, содержащая 22,8% марганца.

7.8. Способы применения микроудобрений

Достичь оптимальных концентраций доступных для растений форм микроэлементов трудно в связи с вымыванием их из почвы или переходом в труднодоступное для растений состояние [2, 14].

Заданные оптимальные уровни содержания микроэлементов в почвах создают только в тех случаях, когда почвы генетически бедны микроэлементами. Однако при этом нужно соблюдать осторожность, так как избыточное содержание микроэлементов оказывает отрицательное действие на урожай и качество сельскохозяйственной продукции [2, 14].

Внесение микроэлементов в почву в виде удобрений предусматривается только на почвах с низкой обеспеченностью этими элементами питания. Для среднеобеспеченных микроэлементами почв рекомендуются обработка семян и некорневые подкормки, на высокообеспеченных почвах или почвах с избыточным их содержанием микроэлементы не вносят [2, 14].

Выпуск промышленных форм минеральных удобрений с добавками микроэлементов позволяет более равномерно распределить их по удобряемой площади и сократить расходы на внесение [2, 14].

Однако из-за дефицита микроудобрений, их высокой стоимости, опасности передозировок и загрязнения окружающей среды (так как многие микроэлементы являются тяжелыми металлами), основными способами их применения должны стать внесение микроэлементов в инкрустирующие составы при предпосевной подготовке семян и некорневые подкормки [2, 14].

Контрольные вопросы

1. В каких дозах вносятся микроудобрения в некорневую подкормку?
2. Какие формы микроудобрений используются для некорневых подкормок посевов сельскохозяйственных культур?
3. Какое удобрение не относится к микроудобрениям?
4. Какое удобрение относится к борным удобрениям?
5. Какое удобрение относится к марганцевым удобрениям?
6. Какое удобрение относится к медным удобрениям?
7. Какое удобрение относится к микроудобрениям?
8. Какое удобрение относится к минеральной форме?
9. Какое удобрение относится к хелатной форме?
10. Какое удобрение относится к цинковым удобрениям?
11. Назовите наиболее отзывчивые культуры на внесение серных удобрений:
12. Назовите наиболее отзывчивые с.-х. культуры на внесение медных удобрений:

13. Назовите наиболее отзывчивые с.-х. культуры на внесение молибденовых удобрений:
14. Назовите наиболее отзывчивые с.-х. культуры на внесение цинковых удобрений:
15. Назовите наиболее отзывчивые сельскохозяйственные культуры на внесение борных удобрений:
16. При каких группах обеспеченности почв микроэлементами рекомендуется применение микроудобрений?
17. Укажите наиболее эффективные и широко применяемые в практике способы внесения микроудобрений:
18. Укажите процентное содержание меди в сульфате меди:
19. Укажите серосодержащее удобрение:
20. Укажите содержание бора в борной кислоте (%):

Глава 8. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексными называются минеральные удобрения, содержащие не менее двух основных элементов питания [2, 14].

По составу комплексные удобрения подразделяются на [2, 14]:

1. двойные
2. тройные.

По способу производства комплексные удобрения делят на [2, 14]:

1. сложные,
2. сложно смешанные
3. смешанные.

Выделяют жидкие комплексные удобрения (ЖКУ), для производства которых используют жидкие, газообразные и твердые исходные продукты и различные суспендированные добавки [2, 14].

Сложное минеральное удобрение – это комплексное твердое или жидкое минеральное удобрение, в котором все частицы, кристаллы или гранулы имеют одинаковый или близкий химический состав (аммофос, диаммофос и др.) [2, 14].

Сложно-смешанное удобрение – продукт обработки готовых однокомпонентных и сложных удобрений аммиаком, аммиакатами и кислотами с последующей грануляцией.

Сложно-смешанные удобрения можно использовать под все культуры в основное и припосевное внесение [2, 14].

Для сложных и сложно-смешанных удобрений характерны высокая концентрация элементов и отсутствие или малое количество балластных веществ, что делает их экономичными при транспортировке, складировании, хранении и внесении в почву [2, 14].

Смешанное минеральное удобрение – комплексное минеральное удобрение, полученное путем механического смешивания готовых порошковидных, кристаллических или гранулированных удобрений. Их получают в заводских условиях либо на тукосмесительных установках в местах использования удобрения [2, 14].

Наиболее распространенными комплексными удобрениями являются следующие:

Аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ содержит 10 – 12 % N и 46 – 52 % P_2O_5 . Удобрение мало гигроскопично, хорошо растворимо в воде. Аммофос является наиболее распространенным сложным удобрением. Его вносят в качестве основного удобрения и в рядки при посеве под лен, картофель, зерновые, сахарную свеклу и другие культуры [2, 14].

Используется аммофос и для подкормок многолетних трав и других сельскохозяйственных культур.

Аммофосфат содержит 6 % N и 45 – 46 % P_2O_5 . Это новое азотно-фосфорное удобрение. Содержит фосфора около 70% в водорастворимой форме [2, 14].

По агрономической эффективности аммофосфат приближается к аммофосу. Используется тоже аналогично.

Нитрофоска – азотно-фосфорно-калийное удобрение, содержащее 11 % N, 10 P_2O_5 в усвояемой форме и 6 % – в водорастворимой, 11 % K_2O . Продукт представляет собой смесь различных солей: аммонийной селитры, хлористого аммония, аммофоса, преципитата, суперфосфата, калийной селитры, хлористого калия, гипса и примесей. Если не добавляется хлористый калий, то получают нитрофос (13 % N и 17 % P_2O_5). Нитрофоска эффективна как при основном, так и при локальном внесении под многие сельскохозяйственные культуры [2, 14].

Нитроаммофоска – высококонцентрированное удобрение, содержащее по 17 – 18 % N, P_2O и K_2O . Нитроаммофоска является универсальным удобрением, пригодным как для основного, так и для предпосевного внесения [2, 14].

Азофоска содержит по 16 % N, P_2O_5 и K_2O . Она имеет весьма сложный химический состав. Ее получают методом азотнокислого разложения фосфатного сырья. Если хлористый калий не вводится, получают двойное азотно-фосфорное удобрение. Применяют азофоску так же, как нитрофоску [2, 14].

Аммонизированный суперфосфат ($Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O + NH_4H_2PO_4$) содержит от 22 до 33 % P_2O_5 и 3 – 8 % N. Например в ОАО «Гомельский химический завод» в последнее время производится марка 8% N и 30% P_2O_5 . Фосфор в этом удобрении содержится в основном в водорастворимой форме (97 % $\pm$ 1). Массовая доля усвояемого фосфора 29 % $\pm$ 1, содержание SO_3 – 25 %, CaO – 15 %. Гранулированное удобрение серого цвета применяется для основного внесения под все культуры, а также в рядки при посеве [2, 14].

Диаммонийфосфат (диаммофос) $(NH_4)_2HPO_4$ – гранулированное удобрение темно-серого цвета, неслеживающееся, содержит 19 – 21 % N и 35 – 48 % P_2O_5 в водорастворимой форме. Обладает хорошими физическими свойствами. Его можно непосредственно применять под все культуры или использовать для приготовления сложно-смешанных удобрений [2, 14].

Аммофосфатка – гранулированное комплексное удобрение. Содержит 4% N, 24 % P_2O_5 и 30 % K_2O . Производится в гранулированном виде. Рекомендуются для внесения под лен [2, 14].

Селитра калиевая (KNO_3) – сложное азотно-калийное удобрение, содержит не менее 13 % N и 46 % K_2O . Представляет собой кристаллическое белое с желтовато-серым оттенком удобрение. Хорошо растворяется в воде, обладает слабой гигроскопичностью, при хранении может слеживаться, физиологически щелочное удобрение. Калийную селитру наиболее эффективно использовать в овощеводстве [2, 14].

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) представляют собой водные растворы или суспензии, содержащие два и более элемента питания. Наиболее распространенным жидким удобрением является ЖКУ, содержащее 10 % N и 34 % P_2O_5 , производимое на основе полифосфорных кислот. Оно не выпадает в осадок даже при температуре -17°C [2, 14].

В отличие от жидкого аммиака для транспортировки, хранения и внесения ЖКУ не нужна аппаратура с высоким давлением. Применяют ЖКУ в качестве допосевого удобрения, во время сева и для подкормки, последняя, может быть и поверхностной [2, 14].

Контрольные вопросы

1. На сколько групп классифицируются комплексные удобрения?
2. Укажите основные преимущества комплексных удобрений в сравнении с однокомпонентными.
3. Укажите основные приемы внесения жидких комплексных удобрений (ЖКУ) в настоящее время.
4. Укажите понятие «комплексное» удобрение.
5. Укажите приемы внесения аммофоса.
6. Укажите содержание действующего вещества в аммонизированном суперфосфате, %.
7. Укажите содержание действующего вещества в аммофосе, %.
8. Укажите удобрение, не относящееся к комплексным удобрениям.
9. Укажите удобрения, относящиеся к комплексным удобрениям.
10. Укажите формулу аммофоса.
11. Укажите формулу калийной селитры.

Глава 9. ПРИЕМЫ, СРОКИ, СПОСОБЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

9.1. Агротехнические требования к внесению удобрений

Эффективность земледелия неразрывно связана с рациональным использованием удобрений, т.е. с точным соблюдением технологий их внесения [29].

Различают три приема внесения удобрений [2, 14]:

1. основное (допосевное, предпосевное),
2. припосевное (рядковое)
3. подкормку (послепосевное внесение).

Удобрения можно вносить в разные сроки [2, 14]:

1. осенью,
2. весной,
3. летом.

Способы внесения минеральных удобрений принято разделять на разбросной с последующей заделкой плугом, боровами или культиваторами и локальный с помощью машин, вносящих удобрения на заданную глубину в виде лент, гнезд, очагов и т.д. Эффективным приемом внесения минеральных удобрений является также запасное внесение.

При выборе срока, приема и способа внесения удобрений преследуются следующие цели: создать условия максимальной доступности растениям питательных элементов, обеспечить растения питанием на протяжении всего периода роста и особенно в критические периоды, т.е. в периоды наибольшей потребности в удобрениях; сократить потери питательных элементов от вымывания, уменьшить химическое необменное поглощение элементов и переход их в недоступные для растений формы [30].

Учитываются также биологические особенности культур, их корневых систем, распределение влаги по профилю почвы, так как в пересыхающих и переувлажненных слоях удобрения используются плохо, а при избытке влаги могут быть вымыты.

Удобрения должны находиться в зоне развития корневой системы и минимально фиксироваться почвой. Заделанные во влажный слой почвы, они хорошо используются растениями в течение почти всей вегетации.

На легких почвах глубина заделки должна быть больше, чем на тяжелых.

При внесении удобрений необходимо учитывать, что питательные элементы в почве могут передвигаться с почвенными водами и в результате диффузии. Диффузионное передвижение питательных элементов выражено довольно слабо, особенно фосфора, большее значение имеет транспорт питательных элементов удобрений нисходящими и восходящими токами воды.

Вымыванию подвергаются, прежде всего, азотные удобрения (нитраты), что, кроме того, опасно для окружающей среды.

Вымывание элементов питания характерно для ранней весны и поздней осени, когда поля не заняты сельскохозяйственными культурами. Поэтому важно правильно выбрать время внесения азотных удобрений. Накопление нитратов в почве может привести также к су-

ществленным потерям азота в результате денитрификации, которые достигают 10–35 % от внесенного количества. Причем из нитратных удобрений теряется азота значительно больше, чем из аммиачных [47].

При поверхностном внесении твердых аммонийных и амидных удобрений или мелкой их заделке размеры потерь аммиака прямо зависят от рН и влажности почвы, а также дозы удобрений. Если при поверхностном внесении аммонийной селитры и сульфата аммония теряется не более 1–3 % N, то при применении высоких доз мочевины – 20–30 %.

Потери азота из жидких аммиачных удобрений тем меньше, чем больше глубина их внесения и влажность почвы. Как уже отмечалось, на суглинистых почвах потерь практически не отмечается при заделке аммиачной воды на глубину 10–12 см (минимальная глубина внесения 7–8 см), а безводного аммиака – 16 см (минимальная глубина 12–14 см).

Фосфорные удобрения сохраняются в месте их внесения и очень слабо мигрируют по почвенному профилю даже на легких почвах. Поэтому вероятность вымывания фосфора из корнеобитаемого слоя незначительна.

Калий поглощается почвой главным образом обменно, хорошо удерживается, особенно в связных почвах, незначительно вымывается из песчаных, супесчаных и торфяных почв.

Фиксация фосфора и калия удобрений почвой в основном происходит сразу же после внесения (в течение суток), но не позднее месяца. Фосфор переходит в малоподвижные соединения значительно больше (50–70 %), чем калий.

Наиболее сильно фосфор закрепляется на кислых дерново-подзолистых почвах с большим содержанием полуторных окислов железа и алюминия, калий – в богатых гумусом известкованных. Попеременное высушивание и увлажнение почвы существенно усиливает фиксацию калия, но не влияет на фиксацию почвой фосфора.

На связных почвах при осеннем внесении степень закрепления фосфора и калия удобрений практически одинакова. На кислых дерново-подзолистых почвах, чем раньше до посева будет внесена фосфоритная мука, тем больше образуется доступного растениям фосфора.

Гранулированный суперфосфат, наоборот, лучше вносить ближе к севу или во время него, чтобы уменьшить закрепление фосфора почвой. Гранулирование уменьшает площадь контакта удобрения и тем самым фиксацию фосфора, но при внесении задолго до посева гранулы растворяются и закрепление фосфора почвой увеличивается [37].

При мелкой заделке фосфорных и калийных удобрений фосфор и калий из-за очень слабой подвижности в сухой почве не будут использованы растениями. При подкормке культиватором-растениепитателем эти удобрения также часто попадают в сухой слой почвы и дают меньший эффект, чем при заделке плугом с предплужником до посева в зону корневой системы растений.

Таким образом, регулируя сроки и выбирая конкретный способ внесения удобрений, можно добиться максимальной их оплаты прибавкой урожайности культур при высоком качестве растениеводческой продукции.

9.2. Основное (допосевное) внесение удобрений

Основное внесение удобрений выполняется до посева и обеспечивает питание растений на протяжении всего периода вегетации. До сева вносят навоз или другие органические удобрения и, как правило, большую часть общей дозы минеральных удобрений [5].

Основную заправку проводят осенью или весной в зависимости от почвенно-климатических условий, особенностей удобрений, их наличия и других причин.

Основное внесение фосфорных и калийных удобрений выполняют преимущественно осенью и заделывают под глубокую зяблевую вспашку, чтобы удобрения попали в наименее пересыхающий слой почвы, где размещается основная масса корней.

Особое значение имеет глубокая заделка фосфорных удобрений, поскольку фосфор в почве практически не передвигается.

Эффективность вносимых минеральных удобрений во многом определяется способом их внесения и заделки в почву. Оптимальные условия питания растений создаются, если удобрения вносятся в наиболее влажный слой почвы – на глубину от 10 до 20 см, т. е. в зону размещения основной массы корневой системы. При мелкой заделке

удобрения размещаются в поверхностных, пересыхающих слоях почвы и плохо используются растениями [30].

Особенно низкий эффект от такой заделки наблюдается в засушливые годы при недостаточном выпадении осадков.

Заделка азотных, фосфорных и калийных удобрений равномерно по профилю пахотного горизонта (при вспашке минеральные удобрения заделываются на глубину до 20 см, при культивации – до 10 см) способствует лучшему усвоению элементов питания корневой системой растений, что обеспечивает более высокую урожайность возделываемых культур.

Сроки основного внесения удобрений зависят от типа, гранулометрического состава, влажности почвы и свойств самих удобрений. Нитратные и аммонийно-нитратные азотные удобрения на избыточно и достаточно увлажненных дерново-подзолистых почвах вносят весной, чтобы уменьшить потери азота, и заделывают чаще всего культиваторами, так как нитратный азот быстро продвигается вглубь с осадками.

Жидкие аммиачные удобрения (аммиачная вода, безводный аммиак) в условиях достаточного увлажнения на дерново-подзолистых почвах связного гранулометрического состава можно вносить осенью под глубокую культивацию, когда среднесуточная температура почвы устанавливается ниже 10°C, процессы превращения азота в почве затухают и больших потерь его не бывает. На легких дерново-подзолистых почвах эти удобрения вносят весной [51].

Калийные удобрения, как указывалось, применяют весной только на песчаных, супесчаных и торфяных почвах при достаточном или избыточном их увлажнении. На связных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почвах их лучше вносить осенью при перепашке зяби, особенно хлорсодержащие. За осенне-весенний период хлор вымывается и не оказывает вредного действия на хлорофобные культуры.

Навоз или компосты вносят при вспашке зяби или весной. Весеннее внесение навоза практикуется, если к осени его накопилось в хозяйстве недостаточно, а также на песчаных и супесчаных почвах для предупреждения потерь азота и калия.

Разбросное внесение удобрений выполняется главным образом центробежными разбрасывателями, конструкция и исполнение которых большей частью несовершенны. Неравномерное распределение удобрений на поле снижает урожайность сельскохозяйственных культур.

В соответствии с агрохимическими требованиями неравномерность распределения туков сеялками и разбрасывателями для азотных удобрений не должна превышать 10 %, фосфорных и калийных – 15 – 20 %.

Равномерность распределения удобрений на поле зависит от однородности самих удобрений, регулировки машин и соблюдения других требований технологии внесения, тем более что и сами технологии внесения удобрений далеко не совершенны не только на стадии поверхностного разбрасывания, но и заделки их в почву.

Плугами удобрения заделываются слишком глубоко, поэтому в начале роста они недоступны для растений, при использовании борон и культиваторов питательные элементы размещаются в верхних, пересыхающих слоях почвы и также не могут быть в полной мере использованы растениями. Поэтому калийные и фосфорные удобрения заделывают плугами, а азотные – культиваторами. Кроме того, фосфорные могут вноситься во время сева в рядки, а азотными проводят подкормки. Такое «послойное» внесение удобрений создает нормальные условия для роста и развития растений на весь вегетационный период [44].

Локальное внесение удобрений позволяет избежать недостатков, присущих разбросному способу. При этом способе удобрения заделываются на нужную глубину, т.е. в корнеобитаемый слой почвы.

Локальное внесение имеет несколько вариантов в зависимости от назначения удобрения, времени внесения и условий размещения в почве (формы и взаимного расположения очагов удобрений, ориентации их относительно растений).

Локально можно вносить удобрения до сева, одновременно с ним или после. Удобрения могут размещаться в почве «экраном» (сплошным слоем), непрерывными или пунктирными лентами, гнездами и т.д. До посева туки вносятся, как правило, лентами, идущими поперек или по диагонали относительно направления будущих посе-

вов. При этом для эффективного использования удобрений существенное значение имеют ширина лент, глубина их размещения в почве, расстояние между ними, направление рядков посевов, а также уровень обеспеченности почв элементами питания, дозы, формы удобрений.

Основной особенностью локального внесения удобрений является то, что в пахотном горизонте образуется зона с высоким содержанием элементов питания. Высокая концентрация солей в небольшом объеме почвы сказывается на степени закрепления питательных элементов почвой и величине их потерь [17].

Степень закрепления фосфора при ленточном внесении по сравнению с разбросным способом ниже, тем самым P_2O_5 дольше находится в доступном для растений состоянии. Наличие в почве очагов высокой концентрации $N-NH_4^+$ подавляет процессы нитрификации, что сокращает потери азота из почвы в виде нитратов и повышает степень использования азотных удобрений, особенно при добавлении ингибиторов нитрификации,

Калий при ленточном внесении калийных удобрений меньше подвергается необменной фиксации почвой. Почва вокруг ленты удобрений сильно насыщается, резко меняется концентрация почвенного раствора, возрастает осмотическое давление. В таких условиях затухает жизнедеятельность микроорганизмов, питательные элементы меньше связываются или замедляется нитрификация.

Азот, фосфор и калий по-разному продвигаются из общей ленты удобрений. Наибольшей подвижностью обладает нитратный азот, значительно меньшей – аммонийный азот и калий, очень слабая мобильность у фосфора.

Внесение удобрений в зону питания растений усиливает развитие корневой системы, образуется большое количество узловых корней, тем самым растения лучше снабжаются элементами питания, а значит, повышается их урожайность.

Среди преимуществ локального внесения удобрений по сравнению с разбросным – более экономное использование растениями почвенной влаги. Как показали исследования, на создание единицы продукции растения, удобренные разбросным способом, расходовали на 25–30 %, а удобренные локально – на 30–35 % влаги меньше, чем контрольные.

Экспериментальная проверка эффективности разных видов удобрений при ленточном внесении показала, что ни твердые, ни жидкие удобрения не имеют преимуществ. Однако на практике эффективнее оказываются жидкие удобрения, так как более равномерно распределяются в почве. По этой же причине часто оказываются эффективнее гранулированные комплексные удобрения.

Внесение фосфорных и калийных удобрений можно производить в запас на 2–3 года вперед. Существуют различные оценки этого способа. В одних случаях он имеет преимущество перед ежегодным внесением, в других – его эффективность равна или уступает последнему. На почвах, где интенсивно идут закрепление фосфора удобрениями и необменная фиксация калия, запасное внесение удобрений уступает ежегодному.

Внесение удобрений в запас не получило широкого распространения. Его используют, прежде всего, при подпокровном возделывании многолетних трав, создании культурных пастбищ, в садах, а также в хозяйствах, приобретающих много удобрений. При недостатке удобрений неразумно использовать их в запас на части площади (кроме указанных случаев) и не удобрять другие поля.

Нельзя вносить калийные удобрения в запас на песчаных и супесчаных почвах, из которых калий вымывается. Внесение высоких доз K_2O , кроме того, повышает его содержание в урожае (свыше 3% K_2O на сухое вещество), что опасно для животных, а при использовании хлорсодержащих удобрений может ухудшиться и качество растениеводческой продукции.

Эффективно запасное внесение фосфорных и калийных удобрений при комплексном агрохимическом окультуривании полей с целью увеличения содержания подвижных соединений фосфора и калия. На кислых почвах проводят также фосфоритование – внесение фосфоритной муки в запас на несколько лет [9].

9.3. Припосевное (рядковое) внесение удобрений

Припосевное удобрение должно обеспечивать растения легкоусвояемыми формами питательных элементов в первоначальный период их роста и развития. Это касается преимущественно фосфорных

удобрений, так как в первые дни жизни растения прежде всего нуждаются в фосфоре. При посеве удобрения всегда вносятся локально, что значительно повышает их использование.

Припосевное удобрение важно и для последующего развития растений. В благоприятных условиях питания у молодых растений формируется более мощная корневая система, растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше повреждаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность.

Чаще в рядки при посеве вносятся фосфорные удобрения, реже – азотные, а калийные, как правило, не дают эффекта (за исключением калиелюбивых растений) и даже могут снизить урожай, особенно мелкосемянных культур.

Для припосевного внесения используются гранулированный простой и двойной суперфосфат, аммонизированный суперфосфат, аммофос, аммофосфат, нитрофоска и нитроаммофоска и **не применяются смеси из однокомпонентных удобрений**, так как это часто мажущаяся, трудновысеваемая масса. Если до посева вносились высокие дозы удобрений, положительное действие припосевного удобрения заметно слабее или не проявляется вовсе [33].

9.4. Послепосевное внесение удобрений (подкормки)

После посева удобрения вносятся, чтобы поддержать растения в периоды, интенсивного роста, когда они потребляют много питательных элементов.

Особенно эффективна ранневесенняя подкормка азотными удобрениями озимых культур. Она является обязательным и высокоокупаемым элементом технологии возделывания (12–15 кг зерна на 1 кг азота). Широко применяются подкормки на многолетних сеяных сенокосах и пастбищах, естественных кормовых угодьях, на посевах многолетних трав, возделываемых в севооборотах.

Подкормки необходимы, если до посева удобрения не применяли или их внесли недостаточно. При высоких дозах удобрений под пропашные культуры, особенно в условиях достаточного увлажнения на легких почвах, целесообразно часть их вносить в качестве под-

кормки, при средних дозах это не дает эффекта. При неглубокой заделке в междурядья эффективность подкормок в сильной степени зависит от влажности почвы в течение вегетации [14].

Для подкормок лучше использовать легкорастворимые азотные удобрения, а также богатые азотом органические – навозную жижу, птичий помет. Вносят удобрения или поверхностно вразброс (ранневесенняя подкормка озимых, подкормка многолетних трав, сенокосов и пастбищ), или в междурядья пропашных и овощных культур с заделкой в почву при последующей междурядной обработке, или культиваторами-растениепитателями.

Для подкормки озимых и яровых зерновых в последнее время широко используются растворы удобрений (КАС, мочевины) с целью повышения качества зерна (прежде всего белковости). Попадая на листовую поверхность, мочевина непосредственно используется зерновыми для синтеза белков [2, 14].

Подкормки мочевиной в период колошения и цветения увеличивают содержание белка в зерне на 1–2 %. Мочевина, будучи источником азотного питания и физиологически активным веществом, активизирует процессы азотного обмена, в частности образование сульфогидридных групп (метионин, цистин и трипептид глутатион). Аминокислоты, содержащие SH-группы, играют большую роль в процессах обмена веществ, роста и закладки репродуктивных органов [2, 14].

Поздняя азотная подкормка мочевиной повышает и степень гидратации коллоидов вследствие увеличения общего количества азота, водорастворимых и неэкстрагируемых белков. Увеличивается также количество прочносвязанной воды и повышается водоудерживающая способность листьев.

Механизм поглощения листьями минеральных веществ такой же, как и корнями. Первым этапом поглощения ионов из раствора является обменная адсорбция – процесс, протекающий на поглощающей поверхности почти мгновенно. И у корней, и у листьев поглощение солей из раствора в большей степени зависит от рН среды, концентрации раствора, состава соли, длительности соприкосновения поглощающего органа растения [25].

У растений существует тесная взаимосвязь между всеми жизненно важными процессами, в том числе между корневым и некорне-

вым питанием. Поэтому некорневая подкормка повышает эффективность удобрений, находящихся в почве. Во взаимосвязи некорневого и корневого питания большую и неоднозначную роль играет фотосинтез.

С одной стороны, некорневые подкормки, повышая интенсивность фотосинтеза, усиливают приток в корни органического вещества и энергетического материала. В результате усиливается дыхание, быстрее растут корни, увеличивается их поверхность, а значит, и поглощение минеральных веществ. С другой стороны, введение в листья химических элементов может вызвать связывание и удерживание продуктов фотосинтеза в месте их образования, а это скажется отрицательно на деятельности корней и урожайности.

Последнее обычно наблюдается при проведении некорневой подкормки в первой половине вегетации, когда в растениях преобладают синтетические процессы. Положительный эффект дают подкормки, если проводятся после цветения, когда преобладает гидролиз.

Дозы удобрений для послепосевого внесения определяются по результатам почвенной и растительной диагностики.

Для различных культур в зависимости от величины планируемого урожая, общей дозы удобрений и других условий возможны различные комбинации приемов внесения удобрений. При высокой дозе целесообразно применять все три приема внесения – допосевное, припосевное и подкормку.

Удобрения в этом случае размещаются в различных слоях почвы и создаются хорошие условия для питания растений в течение всего вегетационного периода.

9.5. Хранение, транспортировка и внесение минеральных удобрений

Правильная организация хранения, перевозки и внесения удобрений позволяет избежать их потерь и использовать с максимальной эффективностью. Минеральные удобрения хранят в специальных типовых складах. Склады могут быть прирельсовыми, строиться в хозяйствах и при пунктах химизации сельскохозяйственных предприятий.

При хранении минеральных удобрений на открытых необорудованных площадках потери достигают 10–15%, ухудшается качество удобрений, они отсыревают, слеживаются, снижается содержание действующего вещества.

Необходимость складирования удобрений обусловлена сезонностью их применения и неравномерным поступлением в течение года. Типы и размеры складов определяют с учетом годовой оборачиваемости удобрений. Прирельсовые склады имеют значительно большую вместимость, чем в сельскохозяйственных предприятиях. Здания строят из железобетонных и облегченных деревянных конструкций, а также из кирпича, местных строительных материалов и располагают не ближе 200 м от жилых, общественных и производственных зданий.

Вместимость прирельсовых складов рассчитывается исходя из количества обслуживаемых хозяйств, их удаленности и перспективной годовой потребности в удобрениях (на 10–15 лет), а также минимальных затрат на строительство.

Годовая оборачиваемость удобрений в прирельсовых складах может быть двух-, трех- и четырехкратной. Типовые проекты складов химической продукции предусматривают механизированную и автоматизированную выгрузку из железнодорожных вагонов, складскую переработку и погрузку в транспортные средства.

В последнее время вместо отдельных складов чаще строятся крупные базы химической продукции, включающие целый комплекс сооружений: несколько складов сухих удобрений, склад жидких удобрений, склад силосного типа для приема и хранения пылевидных известковых удобрений, автомобильные весы, бытовые и санитарные помещения, автомобильные и железнодорожные подъездные пути и т.д. Построенные по новым типовым проектам склады могут принимать туки как из обычных, так и специализированных вагонов.

Размер склада хозяйства зависит от перспективной потребности в минеральных удобрениях и коэффициента их оборачиваемости. Типовые проектные решения складских комплексов для хозяйственных и межхозяйственных пунктов химизации предусматривают склады для хранения минеральных удобрений.

В складские комплексы входят: склад пожаро- и взрывоопасных удобрений (соответственно на 1 000, 1 200, 1 600 и 2 600 т), склад аммонийной селитры (от 320 до 600 т), склад пестицидов (от 40 до 80 т), а также блок приема и погрузки удобрений в транспортные средства, бытовые помещения, весовая (на 30 т) и резервуар для воды (на 100 м³).

Склады минеральных удобрений должны отвечать следующим требованиям: полная изоляция удобрений от атмосферных осадков, талых и грунтовых вод, поддержание микроклимата, исключающего сквозняки и приток влажного воздуха, механизация погрузочно-разгрузочных работ (центральный проезд шириной 3 м для машин), иметь приемное устройство для незатаренных удобрений, а также бетонные или асфальтовые полы (при хранении удобрений на земляном полу изменяются их физические свойства, они увлажняются, гранулы разрушаются).

Контрольные вопросы

1. Какие выделяют способы внесения удобрений?
2. Каков критический период у растений в отношении фосфорного и азотного питания?
3. Каковы физиологические основы определения потребности
4. поступления питательных веществ в растение?
5. Роль удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почв.
6. сельскохозяйственных культур в удобрениях?
7. Что понимается под критическим и максимальными периодами
8. Что такое критический и максимальный периоды?

Глава 10. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ. ЗНАЧЕНИЕ, ВИДЫ И ОБЪЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Органические удобрения содержат питательные элементы в форме органических соединений растительного и животного происхождения [2, 14]. Они используются на протяжении тысячелетий. В Китае и Японии органические удобрения начали применять более 3 тыс. лет назад.

В странах Западной и Восточной Европы – в XIV–XV вв. использовали навоз, в Средней Азии с давних времен – зеленое удобрение. В современном мировом сельском хозяйстве ежегодно используется 3–4 млрд. т органических удобрений.

Органическим удобрением принадлежит важная роль в повышении плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Без их систематического применения нельзя рассчитывать на высокие

и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, особенно на песчаных и супесчаных почвах [2, 14].

Академик Д. Н. Прянишников писал: «Как бы ни было велико производство минеральных удобрений в стране, навоз никогда не теряет своего значения как одно из главнейших удобрений в сельском хозяйстве» [2, 14].

В современном сельском хозяйстве органическим удобрениям принадлежит особая роль в сохранении почвенного плодородия на фоне повышения урожайности возделываемых культур. При интенсивном ведении земледелия минерализация гумуса существенно возрастает и недостаточные дозы органических удобрений могут привести к снижению почвенного плодородия. Поэтому в настоящее время поддержание бездефицитного баланса гумуса в почвах с оптимальным его содержанием и положительного – в почвах с низким содержанием, является первоочередной задачей сельскохозяйственного производства и её решение непосредственно связано с применением органических удобрений [2, 14].

Органические удобрения оказывают многостороннее действие на все агрономически важные функции почвы и позволяют вовлечь в хозяйственно-биологический круговорот элементы минерального питания, отчуждаемые с урожаем сельскохозяйственных культур [2, 14].

Систематическое применение органических удобрений способствует: накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы; увеличивает запас питательных веществ, понижает кислотность, повышает содержание поглощённых оснований, поглощательную способность и буферность, влагоёмкость, скважность и водопроницаемость, обогащает почву микрофлорой усиливает её биологическую активность и выделение углекислоты, уменьшает сопротивление почвы при механической обработке, создаёт оптимальные условия для минерального питания растений, повышает устойчивость растений при неблагоприятных погодных условиях [2, 14].

За счет органических удобрений компенсируется около 30 – 40 % выноса питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур [2, 14].

Под влиянием органического вещества навоза активизируются микробиологические процессы в почве, в результате чего повышается растворимость, а следовательно, и доступность растениям элементов

минерального питания. Например, нерастворимые фосфаты кальция, железа, алюминия и другие формы переходят в соединения, усвояемые растениями. Фосфор же, потребленный микроорганизмами и закрепленный в плазме при их отмирании, переходит в легкоусвояемые растениями соединения [2, 14].

Около 75 % органических удобрений от внесённого количества минерализуется и участвует в питании растений, 25 % гумифицируется и идёт на восполнение потерь почвенного гумуса с навозом в почву возвращается часть питательных элементов, поглощенных растениями в предыдущие годы. Одна тонна подстилочного навоза в среднем содержит 5 кг азота, 2,5 кг фосфора, 6 кг калия, а также ряд микроэлементов – 15 г марганца, 1,1 г бора, 2,5 г меди, 10 г цинка, 0,15 г кобальта [2, 14].

Органические удобрения являются источником углекислого газа, который насыщает не только почвенный воздух, но и приземный слой атмосферы [2, 14]. Воздух над унавоженным полем обогащается CO_2 , что существенно улучшает воздушное питание растений. Углекислота, выделяющаяся при разложении навоза, положительно действует и на процессы, протекающие в почве.

Повышается подвижность почвенных фосфатов. При мощном развитии растений и густом травостое углекислота, образующаяся при разложении навоза, почти полностью усваивается растениями. Особенно большое значение это имеет для защищенного грунта.

При внесении 30 т/га навоза в почве за сутки образуется до 200 кг/га углекислого газа. При урожайности зерновых 50 ц/га растения на 1 га расходуют около 200 кг CO_2 в сутки, а картофель и овощи при урожайности 250 ц/га – 150 кг CO_2 . В опытах посеvy сахарной свеклы, использовавшие дополнительно углекислоту, образующуюся при разложении навоза, дали урожайность и выход сахара на 25 % больше, чем в контроле без органических удобрений. Внесение 60 т/га навоза под огурцы на супесчаной почве повысило их урожайность на 43 %, в том числе за счет образования CO_2 – на 20 %.

При сложившейся системе содержания животных в сельскохозяйственных организациях для подстилки необходимо 4500 тыс. тонн соломы и 2860 тыс. тонн торфа для компостирования с полужидким навозом. В целом по выход подстилочного навоза составляет 50 %, по-

лужидкого – 20 %, жидкого – 30 %. Ежегодно на почвы пахотных земель необходимо вносить 55,7 млн. тонн навоза и компостов, или 12,1 тонн на 1 га пашни [2, 14].

Среднегодовые дозы органических удобрений в севооборотах для поддержания бездефицитного баланса гумуса зависят от типа и гранулометрического состава почвы, биологических особенностей возделываемых культур [2, 14].

Наиболее интенсивно минерализация гумуса протекает в почвах под пропашными культурами. Положительный баланс гумуса при возделывании без внесения органических удобрений способны обеспечить только многолетние травы. Поэтому при расчете доз органических удобрений для поддержания бездефицитного баланса гумуса необходимо учитывать соотношение между пропашными культурами и многолетними травами: чем меньше многолетних трав приходится на 1 га пропашных, тем выше должны быть дозы органических удобрений [2, 14].

При структуре посевных площадей, когда на 1 га пропашных приходилось 0,8 га многолетних трав для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель необходимо вносить не менее 12 т/га органических удобрений или 55,7 млн. тонн. С учетом имеющегося поголовья скота может быть заготовлено 46,8 млн. тонн навоза и компостов и 9,7 млн. тонн условного навоза за счет заправки соломы. В сумме это составит 56,5 млн. тонн органических удобрений (12,1 т/га), что в целом может обеспечить бездефицитный баланс гумуса [2, 14].

Для учета внесения различных видов органических удобрений (форма 9-сх) по их способности к гумусообразованию используются следующие коэффициенты перевода в условный навоз: все виды подстилочного навоза – 1; полужидкий бесподстилочный навоз – 0,5; жидкий навоз – 0,2; навозные стоки – 0,06; куриный помет – 1,7; подстилочный помет – 2,0; торфо-пометный компост – 1,3; сапропелевые удобрения органического типа – 0,5; сапропелевые удобрения смешанного типа – 0,3; солома зерновых, крупяных и крестоцветных культур – 3,5 (с учетом дополнительного внесения азота); солома зернобобовых культур и кукурузы (с учетом дополнительного внесения азота) – 1,8; ботва – 0,5 [2, 14].

Для того, чтобы повысить содержание гумуса в этих почвах на 0,01%, на основании средних коэффициентов гумификации рассчитаны дозы различных видов органических удобрений, которые следует внести сверх количества, необходимого для поддержания бездефицитного баланса гумуса.

Увеличение объемов применения органических удобрений, наряду с поддержанием бездефицитного баланса гумуса в почвах, способствует дополнительному поступлению в почву азота, фосфора и калия, что очень важно в условиях постоянно возрастающих цен на минеральные удобрения.

Сохранение и повышение запасов гумуса в почвах в перспективе должно определяться объемом применения органических удобрений и использованием для этих целей всех возможных источников органического вещества (торф, солома, сидераты), структурой посевных площадей, способами обработки почв.

Уменьшение количества используемых органических удобрений до 8,2 т/га ставит под угрозу поддержание не только положительного, но и бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах. В этих условиях усиливается необходимость расширения площадей под посевы многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей и сокращения пропашных культур в структуре посевов. Это диктуется также интересом энергосбережения.

В настоящее время представляется целесообразным использовать энергосберегающую структуру посевов из расчета не менее трех гектаров многолетних трав на каждый гектар пропашных культур в среднем.

Применяются следующие виды органических удобрений [2, 14]:

1. Органические удобрения на основе отходов животноводства и птицеводства: подстилочный и бесподстилочный навоз, навозные стоки (навозная жижа), птичий помет.

2. Удобрения из природного органического сырья: торф, сапропель, компосты (в том числе вермикомпосты).

3. Зелёное удобрение и побочные продукты растениеводства: зелёное удобрение, солома.

4. Удобрения на основе коммунальных и промышленных отходов: промышленные и бытовые отходы, гидролизный лигнин, осадки сточных вод.

10.1. Подстилочный навоз

Подстилочный навоз – основное органическое удобрение. Это смесь твердых и жидких экскрементов животных и подстилки [2, 14].

Выход навоза, его химический состав и удобрительная ценность зависят от вида животных, типа кормления, количества и вида подстилки (солома, торф), способа хранения, степени разложения [2, 14].

По содержанию воды навоз делят на **горячий** (конский и овечий) и **холодный** (от крупного рогатого скота и свиней). Горячий навоз содержит меньше воды и разлагается быстрее, поэтому его используют для набивки парников, устройства утепленных гряд и в качестве биотоплива [2, 14].

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота. 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 [2, 14].

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по химическому составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях азота больше, чем в твердых, а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях [2, 14].

Основное количество фосфора, выделяемого из организма животных, находится в кале, а большая часть калия и от 1/2 до 2/3 азота – в жидких выделениях. Азот и фосфор в твердых выделениях входят в состав органических соединений и после минерализации переходят в доступную для растений форму. В жидких выделениях элементы питания растений находятся в растворимой, легкодоступной форме [2, 14].

В навозе лошадей и овец меньше воды и больше органического вещества, а также азота и фосфора, чем в навозе крупного рогатого скота и свиней [2, 14].

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияют количество и качество потребляемых кормов. Чем больше поедается сочных кормов и выше их влажность, тем больше

жидких выделений. Чем корм переваримее, тем меньше сухого вещества в твердых выделениях [2, 14].

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 [2, 14].

Свежие выделения животных не используются в качестве удобрений, так как при их внесении возможны засорение полей семенами сорных растений, заражение болезнетворными бактериями животных и человека, загрязнение окружающей среды.

В зависимости от степени разложения различают [2, 14]:

свежий навоз;

слаборазложившийся – подстилка и кормовые остатки незначительно изменили цвет и прочность;

полуперепревший – подстилка и кормовые остатки темно-коричневого цвета, потеряли прочность и легко разрываются; масса по сравнению со свежим уменьшилась на 10–30 %;

перепревший – однородная темноокрашенная мажущая масса с трудноразличимыми составными частями; на этой стадии разложения теряется около половины исходной массы и органического вещества;

перегной – черная однородная сыпучая масса; количество перегноя составляет около 25 % от свежего навоза.

Не рекомендуется вносить и свежий навоз, так как в нем содержится большое количество семян сорняков, а также возбудителей различных болезней. Кроме этого, наличие в свежем навозе большого количества неразложившихся безазотных соединений усиливает иммобилизацию почвенной микрофлорой азота, фосфора и других элементов, т.е. она выступает в качестве конкурента растений.

Поэтому культура, посеянная по свежему навозу, в первый год может даже снизить урожай вследствие азотно-фосфорного голодания растений в начале вегетации. Особенно недопустимо вносить свежий навоз под сахарную свеклу, кукурузу и озимую пшеницу. Лучшим является подстилочный полуперепревший навоз

Доводить удобрение до перепревшего состояния и перегноя не рационально, так как при этом в 2–3 раза уменьшается содержание органического вещества [2, 14].

Во время хранения химический состав навоза существенно изменяется: в результате аммонификации азотистых веществ происходят значительные потери азота [2, 14]. Качество навоза зависит от химического состава и поглотительной способности подстилки, которая создает лучшие условия для жизнедеятельности микроорганизмов и разложения кала.

Подстилка улучшает физические свойства навоза, впитывает мочу и поглощает образующийся при ее разложении аммиак, что уменьшает потери азота. Особенно важное значение имеет способность подстилки поглощать жидкости и газы [6].

В значительной степени качество навоза определяется содержанием в подстилке азота и зольных веществ. Самым высоким содержанием азота характеризуется торфяная подстилка и солома бобовых, в последней содержится и самое большое количество фосфора. Поэтому в навозе, приготовленном из торфяной подстилки и соломы бобовых, больше всего азота.

Для подстилки применяют солому злаковых культур и торф или торфяную крошку, реже – древесные стружки и опилки.

Среднесуточные нормы подстилки соломы злаковых культур и верхового(мохового) торфа на одну голову составляют соответственно (кг): для коров – 4–6 и 5–8; лошадей – 2–4 и 3–5; овец – 0,5–1 и 1–1,5 и свиней – 1–2 и 1,5–2. [2, 14] С увеличением массы подстилки для коров с 2 до 6 кг почти в 1,5 раза возрастает накопление навоза и в 3–4 раза уменьшаются потери азота при его хранении.

Для подстилки лучше использовать слаборазложившийся (содержащий менее 20 % гумифицированных органических веществ) верховой 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. Верховой торф имеет небольшую зольность (1,5–3%) и высокую способность к поглощению жидкостей и газов: 1 кг верхового торфа способен поглотить 9–18 кг воды, 15–30 г аммиака, а 1 кг соломы – 2–3 кг воды и 2–5 г аммиака.

Применение торфяной подстилки на скотных дворах уменьшает содержание аммиака и углекислого газа в воздухе в 2,5 раза и снижает относительную влажность помещения со 100 до 75 %. Торфяная подстилка не только улучшает зоотехнические условия содержания скота,

но и значительно увеличивает выход навоза и резко снижает потери азота.

При увеличении подстилки до 8–10 кг в сутки значительно повышается выход навоза, а потери азота сводятся к нулю; 1 т сухой торфяной подстилки может дать дополнительно 5–7 т хорошего навоза с высоким содержанием азота.

В навозе на торфяной подстилке меньше калия, но больше общего и аммонийного азота, чем на соломенной подстилке. Эффективность его значительно выше, особенно на дерново-подзолистых почвах [2, 14].

Солому для подстилки лучше измельчать до 8–10 см: она больше поглощает мочи, при хранении теряется меньше азота, навоз плотнее укладывается в штабеля и получается более однородным, его легче распределять по полю и легче запахивать [2, 14].

Эффективность навоза на соломенной резке на 20–30% выше эффективности навоза, приготовленного на подстилке из целой соломы. Верховой торф по сравнению с соломой имеет большую влагоемкость: если одна весовая часть соломы поглощает три части воды, то верхового торфа – 10–15 частей, опилок – 4–4,5 части.

При недостатке соломы и верхового торфа для подстилки можно использовать сухую торфяную крошку переходного или низинного торфа, степень разложения которого не превышает 25 и влажность не более 40–45%.

При использовании в качестве подстилки древесных опилок, мелкой стружки навоз получается плохого качества: в нем мало азота и много медленно разлагающейся клетчатки. Такой навоз лучше использовать в качестве биотоплива в овощеводстве закрытого грунта, а на следующий год – под полевые культуры.

Выход навоза зависит от количества и качества подстилки (солома, торф), вида животных, продолжительности стойлового периода. Его можно рассчитывать несколькими способами. Например, при расходе на одну голову крупного рогатого скота в сутки 2 кг ржаной соломы за стойловый период (200 дней) накапливается в расчете на 1 голову около 7 т навоза, а если используется низинный торф – 20 кг в сутки, то выход навоза составит 12,2 т. Овцы накапливают примерно 0,5 т навоза на 1 голову, свиньи – 1–1,5 т, лошади – 7 т/голову [2, 14].

Если исходить из того, что сухое вещество корма наполовину усваивается животными и половина его переходит в навоз, а подстилка поглощает жидкие выделения в соотношении 1:4, то выход навоза H можно подсчитать по формуле $H = 4 (K/2 + П)$, где K – сухое вещество корма; $П$ – вес подстилки. Выход навоза рассчитывают также по формуле $H = 2 (K + П)$ [2, 14].

Для расчета выхода экскрементов все поголовье скота переводится в условные головы по коэффициентам: коровы и быки – 1; прочий крупный рогатый скот – 0,6; свиньи – 0,3; овцы и козы – 0,1; лошади – 1; птица – 0,02 [2, 14].

Выход твердых и жидких экскрементов от одной головы крупного рогатого скота – 40 кг в сутки. В качестве годового норматива выхода экскрементов с учетом 15% потерь при хранении принято 9,5 т на условную голову. К общему количеству экскрементов от всех видов животных прибавляют вес подстилки и получают выход органических удобрений в целом по хозяйству [2, 14].

Количество навоза, хранящегося в штабеле, можно определить, зная объем штабеля (произведение длины, ширины и высоты в м³) и плотность навоза. 1 м³ свежего навоза весит 400 кг, уплотненного – 700, полуперепревшего – 800, сильно разложившегося – 900 кг [2, 14].

Разложение навоза происходит под действием микроорганизмов (бактерий, грибов, простейших). Под действием уреазы, вырабатываемой уробактериями, мочевина очень быстро превращается в углекислый аммоний: $CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$. Последний быстро распадается: $(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + CO_2 + H_2O$.

Азотистые соединения мочи при разложении превращаются в газообразный аммиак, представляющий главный источник потерь азота в навозе. Часть азота иммобилизуется микрофлорой почвы. Чем более солоmistый навоз и больше в нем легкоразлагающихся безазотистых веществ и клетчатки, тем большее количество азота будет закреплено в белковую форму тела бактерий.

К легко разлагающимся безазотистым соединениям относятся сахара, крахмал, органические кислоты, количество их в навозе зависит от корма и вида животных. Органические безазотистые вещества разлагаются на воздухе при температуре 50-70°, в этом случае клетчатка распадается: $C_6H_{10}O_5 + H_2O + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$.

При анаэробном разложении клетчатки получается углекислый газ и метан: $C_6H_{10}O_5 + H_2O = 3CO_2 + 3CH_4$.

Клетчатки в навозе содержится 30–36 % в пересчете на сухое вещество и пентозанов – 14–16%, которые при хранении навоза значительно разрушаются. Клетчатка и другие безазотистые соединения должны обязательно разложиться до внесения навоза в почву, в противном случае возникает опасность интенсивного поглощения азота микроорганизмами, что ухудшит азотное питание растений.

При разложении навоза образуются также масляная, уксусная и другие кислоты. Скорость разложения органических веществ в навозе зависит от влажности, доступа кислорода воздуха и химического состава навоза. Чем больше навоз содержит легкоразлагающихся органических веществ, тем быстрее в нем протекают процессы брожения.

Нитраты и нитриты в обычных условиях в навозе не образуются, так как бактерии-нитрификаторы чувствительны к высокой температуре. Кроме того, они развиваются в аэробных условиях, которые отсутствуют в средних и нижних слоях навоза. Неблагоприятно на эти бактерии действует и высокая концентрация аммиака в навозе, а также большое количество растворимых органических соединений. Если при хранении появляется нитратный азот, он сразу же потребляется целлюлозными бактериями, т.е. не происходит их денитрификации.

Хранение навоза. В зависимости от условий хранения разложение навоза происходит с неодинаковой интенсивностью и навоз получается разного качества. Выделяют три способа хранения навоза: плотный, рыхлый и рыхлоплотный [2, 14].

При *плотном (холодном) хранении* навоз укладывают в штабель шириной 5 – 6 м и высотой около 1 м и немедленно уплотняют, далее настилают новые слои навоза пока высота уплотненного штабеля не достигнет 2,5 – 3 м. Длина штабеля зависит 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 [2, 14].

Свежий навоз становится полуперепревшим через 3–5 мес. после закладки штабеля в зимний период. Потери азота при таком спо-

собе хранения сравнительно небольшие. В навозе, хранившемся плотным способом, содержится значительное количество аммонийного азота. Эффективность его гораздо выше, чем при других способах хранения [2, 14].

При *рыхлом (горячем) хранении* навоз укладывают в узкие, не менее 3 м штабеля без уплотнения. При рыхлом способе хранения происходят наибольшие потери органического вещества и азота, навоз разлагается быстрее, но неравномерно, его удобрительная ценность снижается.

При *рыхлоплотном (горячепрессованном) хранении* навоз укладывают сначала рыхлым слоем высотой 0,8–1 м. При такой укладке микробиологические процессы протекают в условиях хорошего доступа воздуха, происходит разложение органического вещества навоза, температура поднимается до 60–70 °С и наблюдаются значительные потери азота.

Затем на 3 – 5 день навоз тщательно уплотняют, при этом доступ воздуха внутрь штабеля прекращается, температура снижается до 30–35 °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. В плотном состоянии навоз хранят до вывозки в поле.

При таком способе хранения разложение навоза значительно ускоряется, в нем погибают семена сорных трав и возбудителей желудочно-кишечных заболеваний, а потери органического вещества и азота значительно увеличиваются. При рыхлом хранении навоза клетчатка разрушается наполовину, а при плотном – незначительно. Рыхлый способ хранения применяют при обнаружении возбудителей желудочно-кишечных заболеваний и при необходимости биотермического обеззараживания навоза [2, 14].

Рыхлоплотный способ хранения можно рекомендовать только в случае, если применяют большое количество подстилки и навоз получается солоmistый. Такой способ хранения используют также, если вносить навоз нужно весной под яровые или пропашные культуры или необходимо провести его обеззараживание [2, 14]. При горячепрессованном способе хранения перепревший навоз образуется через 1,5 – 2 месяца, перепревший – 4 – 5 месяцев после закладки штабеля.

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 мес. в весенне-летнее время и за 3–4 мес. зимой. В процессе разложения навоза микроорганизмами под действием образующегося CO_2 и органических кислот P_2O_5 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.

Самый лучший навоз получается при содержании скота на глубокой торфяной подстилке. В начале стойлового периода в помещение завозят и рассыпают торфокрошку (степень разложения до 20 %, влажность не более 50 %) из расчета 300 кг на одну корову слоем 20–30 см. На торфокрошку лучше положить солому. Через каждые 10 дней насыпают новый слой торфокрошки.

Перспективно получение подстилочного навоза при содержании животных на глубокой, редко сменяемой подстилке, особенно в условиях фермерских хозяйств. Масса используемого подстилочного материала, прежде всего соломы, при этом может возрасти 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.

Кроме скотных дворов навоз готовят на выгульных площадках и полевых загонах. Убирают его один-два раза за год и укладывают на площадке у фермы в навозохранилище или в поле в уплотненные штабеля.

Ежегодно около 70 % накапливаемого в хозяйствах навоза вывозят зимой, т.к. в это время более свободен транспорт. Однако вывозить в поле навоз можно в любое время года. В поле, его необходимо уложить в большие, хорошо уплотненные штабеля (по 40–60 т) шириной 3–4 м и высотой 1,5–2 м.

Для закладки штабеля выбирают высокое сухое место, очищают его от снега и для поглощения жижи, которая выделяется при разложении навоза, укладывают слой (20–30 см) торфа или соломенной резки. Чтобы навоз не замерзал, укладку каждого штабеля необходимо провести 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. Штабеля размещают так, чтобы при внесении навоза холостые проезды навозоразбрасывателей были минимальными.

Расстояние между рядами штабелей (P_p) должно быть равно рабочему ходу навозоразбрасывателя, оно определяется по формуле $P = 10\,000 \cdot \Gamma / ДШ$, где Γ – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т; $Д$ – доза навоза, т/га; $Ш$ – ширина разбрасывания навоза, м; 10 000 – 1 га ($м^2$). Расстояние между штабелями в ряду ($P_{ш}$) рассчитывается по формуле $P_{ш} = В \cdot Ш / \Gamma$, где $В$ – вес штабеля, т; $Ш$ – ширина разбрасывания навоза, м; Γ – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т. [2, 14]. При хранении навоза в уплотненных штабелях из него меньше теряется азота и органического вещества, больше накапливается и сохраняется аммиачного азота.

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. Удобрительная ценность навоза при этом резко снижается.

Весь навоз, который нельзя сразу вывезти в поле и сложить там в штабеля, необходимо складывать в навозохранилище. Для хранения навоза в хозяйстве необходимо иметь навозохранилище (наземного или котлованного типа) с жижесборником. В северных районах при высоком уровне грунтовых вод навозохранилища оборудуют 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. Размеры навозохранилища зависят от поголовья скота, продолжительности хранения и от количества навоза, которое можно вывезти непосредственно на поля, минуя навозохранилище [2, 14].

Примерная площадь на одно животное для хранения навоза в течение 2,5–3 мес следующая (в м^2): крупный рогатый скот – 2–2,5, молодняк крупного рогатого скота – 1 – 1,25, свиньи – 0,4–0,5, овцы – 0,2–0,3. Вместимость жижесборников зависит от объема навозохранилища – около 2 м^3 на 100 м^2 – площади навозохранилища. Типовое навозохранилище, рассчитанное на хранение навоза от 100 коров, получаемого в течение 2,5–3 мес (около 300 т), имеет объем около 100 м^3 [2, 14].

Навоз в навозохранилище надо укладывать вдоль длинной стороны большими правильными штабелями шириной 2–3 м, тесно прилегающими друг к другу. При такой укладке потери азота меньше и навоз разделяется по степени разложения: в одной стороне навозохранилища навоз более разложившийся, в другой – менее. Штабеля покрывают сверху торфом или соломой слоем 15–20 см [2, 14].

Навозохранилища (котлованного и наземного типа) строят не ближе 50 м от скотного двора и 200 м от жилых помещений и источников питьевой воды. Дно навозохранилища должно быть влагонепроницаемым и иметь уклон в сторону жижесборника. Объем последнего примерно 1,3 м^3 на каждые 100 т навоза. Площадка должна быть ровной, на возвышенном месте, желательно обнесенной деревьями. Для сбора жижи устраивают колодец на расстоянии 1,5–2 м от навозохранилища [2, 14].

Стенки его выкладывают кирпичом на цементе. Колодец должен иметь люк с двумя деревянными крышками. Размер жижесборника зависит от размера навозохранилища. При наличии инфекционных заболеваний животных или содержания в навозе карантинных сорняков хранение и использование навоза определяются указаниями ветеринарной и карантинной служб.

При хранении навоза быстрее распадается жидкая часть выделений животных. По мере разложения в навозе образуются органические кислоты и перегнойные вещества, которые связывают аммиак. Угловая кислота, которая образуется при разложении навоза, также связывает свободный аммиак. Часть аммиачного азота переходит в резуль-

тате деятельности микроорганизмов в состав органических соединений. При использовании торфяной подстилки аммиак может быть поглощен торфом.

В экскрементах животных и подстилке содержится много углеводов. Сахара, крахмал, пектин, органические кислоты легко разлагаются, вследствие чего температура навоза повышается до 60 °С.

В начале разложения навоза азот в нем содержится в двух формах – белковой и аммиачной. В дальнейшем содержание белкового азота повышается, аммиачного – снижается. В небольшом количестве питательные вещества в навозе находятся в легкоусвояемой форме, большей же частью они становятся доступными после разложения навоза.

Доступность растениям азота, фосфора и калия навоза зависит от многих факторов. В первый год растения усваивают главным образом аммиачный азот. Считается, что в первый год растения могут усваивать в среднем 20–25 % азота от общего содержания в навозе [2, 14]. Это зависит не только от содержания в нем аммиачной формы азота, но и от соотношения между растворимым и белковым азотом, наличия углеводов в навозе.

При большом количестве растворимых углеводов микрофлора поглощает азот, и он меньше усваивается растениями. Навоз, внесенный под раннюю зябь, сильно разлагается и лучше усваивается растениями, чем навоз, внесенный весной под яровые культуры.

Быстрее всего растения усваивают азот овечьего навоза, содержащий мало воды и много азота. Свиной навоз при обильном кормлении концентратами также содержит много азота, усвояемого растениями в первый год.

Фосфор, накопленный в почве при длительном применении органических удобрений, находится в более подвижном состоянии и доступной форме для растений, чем внесенный с минеральными удобрениями [2, 14].

Коэффициент использования фосфора и особенно калия из навоза выше по сравнению с азотом. Усвоение растениями фосфора обычно в первый год составляет 25 – 30 %, калия – 50 – 60 % общего их содержания. По сравнению с минеральными удобрениями фосфор навоза усваивается в первый год лучше (почти в 2 раза по сравнению с

водорастворимыми формами фосфорсодержащих удобрений при разбросном внесении), калий примерно также.

Навоз обладает продолжительным последствием. Использование азота, фосфора и калия из навоза на второй год составляет соответственно 15 – 20, 10 – 15 и 10 – 15 %, на третий год используется только азот – 10,5 %. Использование элементов питания из навоза за ротацию севооборота составляет (с учетом последствия): азота – 50 – 55 %, фосфора – 40 – 50 и калия 60 – 75 %, что близко к использованию минеральных удобрений [2, 14].

Снижению потерь питательных элементов при хранении навоза способствуют большое количество подстилки, холодный (плотный) способ хранения навоза с добавлением фосфоритной муки (10–30 кг на 1 т навоза).

Применение подстилочного навоза. Место внесения навоза в севообороте имеет большое значение в повышении его эффективности. Навоз в севообороте следует вносить в первую очередь под те культуры, которые хорошо его окупают, прежде всего, это пропашные, технические, овощные и другие культуры [2, 14].

С повышением насыщения севооборота пропашными культурами оплата навоза дополнительным урожаем возрастает [2, 14].

В Нечерноземной зоне хорошим местом навоза в севообороте являются озимые покровные культуры. При этом заметно возрастает продуктивность севооборота благодаря повышению урожая озимых, многолетних трав и последующих культур. Большой эффект дают органические удобрения при внесении под культуры, не переносящие высокой концентрации солей в почвенном растворе и отзывчивые на углекислоту. Такой культурой являются огурцы, под которые нужно вносить до 80 т/га свежеперепревшего навоза [2, 14].

На кислых дерново-подзолистых почвах в основном приеме внесение навоза должно сочетаться в севообороте с известкованием и применением минеральных удобрений. Если парозанимающие культуры раноубираемые, то навоз можно вносить после их уборки под вспашку и готовить поле к посеву озимых по типу полупара. Под яровые культуры навоз лучше вносить осенью под зяблевую вспашку. Особенно важен этот срок внесения навоза в засушливых районах [2, 14].

На легких песчаных и супесчаных почвах, особенно в районах достаточного увлажнения, хороший эффект получается от весеннего внесения навоза [2, 14].

Дозы навоза зависят от почвенно-климатических условий и биологических особенностей культуры. На песчаных почвах, хорошо проницаемых для воды и воздуха и быстро согревающихся, навоз активно разлагается. В этом случае питательные вещества, переходя в почвенный раствор, могут вымываться. На таких почвах навоз необходимо вносить в небольших дозах и под несколько культур севооборота. [2, 14].

На глинистых и суглинистых почвах можно вносить повышенные дозы навоза, так как на таких почвах он разлагается медленно и повышает урожай культур севооборота в течение ряда лет [2, 14].

Зерновые культуры требуют меньших доз навоза по сравнению с такими пропашными культурами, как картофель, кукуруза, сахарная и кормовая свекла. Особенно хорошо реагируют на высокие дозы, силосные культуры, огурцы, поздние сорта капусты. При возделывании озимых зерновых культур по интенсивной технологии для получения урожайности зерна 70–80 ц/га дозы органических удобрений под культуру должны составлять 40–50 т/га [2, 14].

Для получения урожайности корнеплодов сахарной свеклы на уровне 600 ц/га навоз целесообразно вносить в дозах 70–80 т/га осенью под зябь.

При возделывании картофеля с хорошим товарным видом клубней навоз лучше вносить под предшественник. Под семенные посадки картофеля дозы навоза, внесенного с осени, не должны превышать 40 т/га. Дробление небольшой дозы навоза на несколько культур севооборота не имеет преимуществ перед разовым внесением его под одну культуру.

В многопольных же севооборотах с несколькими пропашными культурами эффективность навоза возрастает, если высокие его дозы, рассчитанные как минимум на бездефицитный баланс гумуса, вносят не за один раз, а под 2–3 интенсивных культуры данного севооборота.

С повышением доз навоза окупаемость его снижается. В севообороте особо важное значение имеет сочетание применения навоза и минеральных удобрений. Этот прием создает более благоприятные условия для питания растений и улучшения свойств почвы [2, 14].

Органические и минеральные удобрения равноценны, если они применяются по эквивалентному количеству питательных веществ [2, 14].

На песчаных почвах некоторое преимущество остается за навозом, улучшающим их свойства. При удобрении сахарной и кормовой свеклы, картофеля, кукурузы и других культур навоз следует дополнять прежде всего азотными удобрениями, а на легких песчаных и супесчаных почвах – азотными и калийными. Поэтому при распределении удобрений по полям севооборота навоз целесообразно вносить на ближние поля, а минеральные – на более отдаленные.

При наличии в хозяйстве навоза разной степени разложения более разложившийся навоз в районах достаточного увлажнения можно внести весной под пропашные культуры.

Дозы внесения навоза устанавливаются исходя из планируемой урожайности и возмещения и пополнения гумуса в почве. Внесение органических удобрений в оптимальных дозах имеет высокую агрономическую эффективность: нормативная прибавка урожая от 1 т навоза для озимых зерновых составляет 25 кг зерна, картофеля – 105 кг клубней, сахарной свеклы – 125 кг и кормовых корнеплодов – 200 кг корнеплодов, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 к. ед [2, 14].

Под озимые и зерновые культуры вносят меньше навоза, чем под кормовую и сахарную свеклу, картофель, кукурузу. При внесении под зерновые более 20–30 т/га снижается оплата удобрений приростом урожайности.

Действие навоза в севообороте проявляется не только на первой культуре, но и на последующих в течение нескольких лет. Это называется последействием удобрения. В севооборотах с учетом их специализации последействие навоза бывает довольно значительным и существенно определяется почвенно-климатическими условиями. Например, на дерново-подзолистых почвах последействие навоза в севообороте (без пропашных) в 1,5 раза, а с пропашными культурами в 3 раза превышает прямое действие на первой (непропашной) культуре.

С насыщением севооборота пропашными культурами относительный размер последействия навоза возрастает. Такая закономерность сохраняется с увеличением доз навоза.

Эффективность навоза в прямом действии и последствии определяется рядом условий. Так, на глинистых почвах он разлагается медленно и поэтому влияет на урожай более продолжительное время (7 лет и более). На песчаных почвах в связи с быстрым разложением навоза действие его на урожай продолжается в течение 3–4 лет.

Последствие навоза объясняется не только постепенным усвоением питательных веществ навоза, но и улучшением физико-химических, физических и биологических свойств почвы. Последствие навоза зависит от его качества. Слаборазложившийся солоmistый навоз в первый год может оказать слабое действие, а в последствии на второй и третий годы может обеспечить сравнительно высокие прибавки урожая. Последствие возрастает с увеличением доз навоза.

Продолжительность действия навоза определяется также почвенно-климатическими условиями. Так, в северных районах земледелия выше прямое действие навоза, а в южных – последствие. В юго-восточной засушливой зоне последствие навоза превышает его действие в первый год [48].

Особенности применения навоза в южных и засушливых областях связаны с тем, что навоз в этих районах из-за недостатка влаги слабо разлагается в почве и в первый год бывает малоэффективным. Во второй и последующие годы оказывает там значительное влияние на урожай.

Вносят подстилочный навоз на поля навозоразбрасывателями и в тот же день заделывают в почву, так как незапаханный в течение 4 часов навоз теряет до 50 % аммиачного азота, за 12 часов – 65, за 24 часа – 70, за 48 часов – 80 %. Глубина заделки навоза зависит от возделываемой культуры, гранулометрического состава почвы, погодных условий и составляет под вспашку от 15 до 25 см [2, 14].

Основным сроком внесения подстилочного навоза и компостов на связных почвах при возделывании пропашных культур является осеннее внесение под зяблевую вспашку. Весной сроки внесения органических удобрений затягиваются из-за переувлажнения почвы, напряженного графика весеннего сева, происходит переуплотнение почвы. Для заделки органических удобрений требуются дополнительные обработки почвы [2, 14].

Навозная жижа – ценное быстродействующее удобрение. Содержание питательных веществ в ней различно. В среднем же количества основных макроэлементов в навозной жиже выражаются следующими величинами: N – 0,2 – 0,3 %, K₂O – 0,4 – 0,5 %, P₂O₅ – 0,01 %.

Навозная жижа – прежде всего азотно-калийное удобрение. В зависимости от вида животных и времени хранения количество азота в ней может колебаться от 0,02 до 0,8 %, а калия – от 0,05 до 1 %. Основные азотистые химические вещества навозной жижи – мочевины, мочевая и гипуровая кислоты, которые под влиянием уробактерий быстро превращаются в углекислый аммоний, легко распадающийся на углекислоту и аммиак [2, 14].

Например, мочевая кислота через ряд азотистых соединений превращается в мочевины, а последняя под влиянием уробактерий переходит в углекислый аммоний [2, 14]:



Аммиак, выделяющийся при распаде углекислого аммония, является основным источником потерь азота из навозной жижи. Важное условие уменьшения потерь азота из навозной жижи – использование достаточного количества подстилки, устройство жижеборников на скотных дворах и при навозохранилищах, добавление к ней суперфосфата (3–5 %).

Канализация на скотных дворах должна быть сделана так, чтобы моча не задерживалась в желобах. Жижеотстойники необходимо периодически очищать от осадка, чтобы в жижеборник поступала хорошая, отстоявшаяся навозная жижа.

Во избежание потерь аммиака при хранении навозной жижи жижеборники должны плотно закрываться. На скотных дворах, где нет жижеборников, жижестоки лучше всего заполнять торфом, заменяя его каждый раз после насыщения жижей. За стойловый период (220–240 дней) от каждой коровы или 10–12 телят собирают примерно 2 т навозной жижи.

При хранении навоза общее количество выделяющейся навозной жижи составляет 10–15 % от веса свежего навоза, за исключением той части, которая поглощается подстилкой, применяемой в обычных дозах. При достаточном количестве торфяной подстилки навозная жижа обычно не накапливается. При различных способах хранения навоза выделяется неодинаковое количество навозной жижи. За 4 месяца из 10 т

исходного навоза жижи выделилось: при плотном хранении 170 л, при рыхло-плотном – 450, а при рыхлом хранении – 1000 л.

Лучший способ использования навозной жижи – приготовление из нее различных компостов. Готовить их можно начиная с теплых мартовских дней и до самой осени [2, 14].

Жижу также хорошо использовать для подкормки озимых культур, лугов и пастбищ, овощных и других пропашных культур. Для подкормки озимых культур, а также лугов и пастбищ берут 3–5 т навозной жижи. В этом случае ее разбавляют в 2–3 раза водой [2, 14]. Этот прием позволяет равномерно распределять жижу по удобряемой площади, уменьшать потери азота, а также избегать ожогов растений. Однако, если жижа в процессе накопления достаточно разбавлена водой и в ней содержится не более 0,2–0,25 % азота, разбавлять ее перед поверхностной подкормкой не рекомендуется.

После подкормки озимые немедленно боронуют. Запаздывание с боронованием приводит к улетучиванию части аммиака и снижению эффективности этого приема. При подкормке овощных и других пропашных культур жижу лучше вносить с помощью цистерны с подкормочным приспособлением ПРЖ-1,7. Это приспособление обеспечивает внесение удобрения в почву на нужную глубину и без потерь азота. При этом способе внесения не требуется разбавления водой даже концентрированной навозной жижи.

В первую подкормку пропашных культур навозную жижу вносят сбоку рядка в дозе 5–7 т/га, а при второй – в середину междурядья в дозе 8–12 т/га [2, 14].

Как основное удобрение вносят жижу в дозе 10–20 т/га в зависимости от особенностей удобряемой культуры. Во избежание потерь азота разлитую по пашне навозную жижу немедленно запахивают [2, 14]. Задержка с заделкой на 2 – 4 дня снижает эффективность жижи на 30 – 50 %. Установлено, что каждая тонна навозной жижи дает 1 ц продукции (в пересчете на зерно). Нужно помнить, что навозная жижа – азотно-калийное удобрение, поэтому добавление к ней фосфорных удобрений существенно повышает ее эффективность.

10.2. Бесподстилочный навоз

На крупных специализированных фермах и животноводческих комплексах применяют бесподстилочное содержание животных, при

котором получается бесподстилочный навоз – подвижная смесь кала, мочи и технологической воды (попадающей в навоз при уборке помещения, мытье кормушек, из автопоилок).

Бесподстилочный навоз по химическому составу – ценное удобрение, и его нужно использовать максимально. В отличие от подстилочного он обладает текучестью, что в значительной степени упрощает уборку его из животноводческих помещений, создает условия для полной механизации и автоматизации комплекса трудоемких работ с навозом. Однако для применения такого навоза требуются существенные изменения в транспортировке, технологии хранения и внесения его в почву [2, 14].

В сельском хозяйстве около 60 % животных содержатся на крупных комплексах, где технологией не предусмотрено использование подстилки. Количество и качество бесподстилочного навоза зависят от вида и возраста животного, типа кормления, продолжительности откорма или стойлового содержания, количества воды, расходуемой при уборке навоза, и технологии накопления. В производственных условиях за счет технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиться на 25 %.

Бесподстилочный навоз в зависимости от соотношения жидкой и твердой фракций подразделяют на **полужидкий**, содержащий более 8 % сухого вещества, **жидкий** (3–8% сухого вещества) и **навозные стоки** (менее 3 % сухого вещества). Поэтому для расчета количества органических удобрений они переводятся с помощью коэффициентов в условный навоз влажностью 75 % (25% сухих веществ). Коэффициент пересчета (К) устанавливается по формуле $K = (100 - V_{\text{факт}}) : (100 - V_{\text{усл}})$, где $V_{\text{факт}}$ – фактическая влажность, %; $V_{\text{усл}}$ – условная влажность (75 %). Так, при фактической влажности навоза 95 % $K = (100 - 95) : (100 - 75) = 5 : 25 = 0,2$. Если влажность удобрений не определяется, можно воспользоваться следующими коэффициентами пересчета удобрений в условный навоз: все виды подстилочного навоза и компосты – 1; полужидкий бесподстилочный – 0,5, жидкий – 0,2, навозные стоки – 0,06. [2, 14].

Количество полужидкого навоза по комплексу ($N_{\text{пж.}}$) за стойловый период рассчитывают по формуле $N_{\text{пж.}} = [(K + M) \cdot D_c \cdot Ч_c] : 1000$ (м^3), где К и М – масса кала и мочи от одной головы скота в сутки, т; D_c – продолжительность стойлового периода, дней; $Ч_c$ – число голов

скота; 1000 – коэффициент перевода весовых единиц в объемные (м^3). При расчете выхода жидкого навоза к массе кала и мочи добавляется количество воды, используемое для гидросмыва. 1 м^3 жидкого навоза в среднем весит 0,95 т, полужидкого – 0,9 т. [2, 14].

Примерный выход бесподстилочного навоза в сутки от одной головы крупного рогатого скота 40–60 л (25–35 л кала, 10–15 л мочи и 5–10 л воды), от одной свиньи – 10 – 12 л (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды) [2, 14].

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.

Использовать такое огромное количество навоза возможно только при полной механизации и автоматизации всех процессов транспортировки, хранения и применения. При разбавлении бесподстилочного навоза водой до 95 %-ной влажности объем его увеличивается в 2 раза, а до 98 %-ной-в 5 раз по сравнению с объёмом экскрементов животных.

При этом концентрация сухого вещества в навозе снижается. Применение прямого гидросмыва приводит к разбавлению навоза водой в 2–3 раза, соответственно возрастает потребность в емкостях для хранения и транспортных средствах для вывозки и внесения навоза.

В связи с этим размещение животноводческих комплексов необходимо тесно увязывать с возможностями земледелия рационально использовать бесподстилочный навоз, т.е. с наличием достаточной площади сельскохозяйственных угодий.

Установлено что для утилизации жидкого навоза комплекса на 24 тыс. свиней или 1,6 тыс. крупного рогатого скота необходимо 600–640 га земельных угодий.

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.

Бесподстилочный навоз, получаемый на крупных фермах и комплексах промышленного типа при скармливании животным значительного количества концентрированных кормов, отличается повышенным

содержанием элементов питания растений. При уменьшении в рационах количества концентратов содержание азота и фосфора несколько снижается, а калия – увеличивается.

Бесподстильный навоз – важное звено в круговороте питательных веществ в земледелии, так как в него переходят из кормов в среднем 50–80 % азота, 60–80 – фосфора, 80–95 – калия, до 90 – кальция, 60 % органического вещества.

Бесподстильный навоз представляет собой значительный источник органического вещества для воспроизводства почвенного гумуса. В среднем от одной условной головы скота в сутки поступает около 5 кг сухого вещества.

В состав органического вещества кала входят целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, пентозаны и другие вещества, в том числе в небольшом количестве углеводы. Отношение C:N в бесподстильном навозе колеблется от 5:1 до 10:1. В этом характерная особенность бесподстильного навоза как удобрения. Содержание элементов питания в бесподстильном навозе колеблется в широких пределах и должно определяться в районной агрохимлаборатории [2, 14]. В среднем жидкий навоз всех видов животных содержит 0,3 % азота, 0,13 – фосфора, 0,3 % – калия [45].

Бесподстильный навоз скотоводческих и свиноводческих комплексов при влажности 92 % содержит (соответственно): 6,0 и 3,9 % органического вещества; 0,28 и 0,38 – азота (в том числе 0,17 и 0,26 % аммиачного); 0,14 и 0,19 – фосфора; 0,32 и 0,18 – калия; 0,10 и 0,15 – кальция; 0,07 и 0,08 – магния и по 0,08 % натрия.

В 1 т навоза крупного рогатого скота (влажность 92 %) содержится 2,8 г Cu, 22 – Mn, 12 – Zn, 2,4 г В, а в 1 т свиного навоза (влажность 95 %) – 2,9 г Cu, 12 – Mn, 32 – Zn, 0,11 г Мо.

При фракционировании навоза в жидкую фракцию переходит не менее 70% фосфора, 80 – азота и 90 % калия. В бесподстильном навозе от 50 до 70 % азота находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям в первый год внесения. Поэтому коэффициент использования культурами азота бесподстильного навоза и действие его на урожай в год внесения выше, чем подстильного, а последствие, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений [2, 14].

Бесподстилочный навоз в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий хранят от 2 до 6 мес. Для этого необходимы прифермские и полевые хранилища. Емкость прифермских хранилищ закрытого типа должна составлять 25–40 % объема навоза, накапливаемого в течение 2–3 мес. Остальные 75–60 % навоза хранят в полевых навозохранилищах.

Прифермские навозохранилища строят на расстоянии не менее 300 м от животноводческого комплекса. Полевые навозохранилища (открытого котлованного типа) размещаются на удобряемых полях. Можно хранить всю массу навоза в прифермских хранилищах, соединяя их трубопроводами с небольшими станциями (или гидрантами) для подачи навоза в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки.

При соблюдении агрономических требований к проектированию бесподстилочный навоз может быть эффективно использован для удобрения, как правило, по следующим технологическим схемам, предусматривающим строительство как прифермских, так и полевых навозохранилищ.

1. Прифермское навозохранилище – цистерна – полевое навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле [2, 14].

2. Прифермское навозохранилище – трубопровод – полевое навозохранилище (гидрант) – цистерна-разбрасыватель – поле [2, 14].

3. Навозохранилище – трубопроводная сеть – дождевальная установка – цистерна разбрасыватель – поле [2, 14].

Первая схема применяется, когда нет трубопровода для перекачивания навоза из прифермского хранилища в полевое. В этом случае его выгружают из прифермского навозохранилища в цистерны-разбрасыватели, вывозят в поле и заполняют полевые навозохранилища для хранения до момента внесения в почву.

В период внесения удобрений навоз из прифермских и полевых хранилищ грузят в цистерны-разбрасыватели, вывозят в поле, разбрасывают по поверхности, а затем, как только это станет возможно, немедленно заделывают его в почву.

Вторая схема при отсутствии трубопроводной сети и дождевальных установок намного эффективнее, чем первая схема. Транспортировка жидкого навоза из прифермского хранилища в полевые по тру-

бам с последующим внесением его цистернами-разбрасывателями позволяет намного снизить транспортные издержки, повысить производительность труда по сравнению с соответствующими показателями при работе по первой схеме. При работе по первой и второй схемам навоз не разбавляется водой.

Третью схему применяют, если имеются трубопроводная сеть и установки для дождевания. В период вегетации, когда вода необходима для полива растений, навоз (после хранения в неразбавленном виде) разбавляют водой в соотношении 1:8–10. Во вневегетационный период навоз разбавляют водой в соотношении 1:1–3. Работа по этой схеме не исключает одновременного использования цистерн-разбрасывателей для внесения неразбавленного навоза на площадях, где нецелесообразно устройство оросительной системы [5].

Для крупных животноводческих комплексов промышленного типа наиболее целесообразно проектировать использование навоза по 3-й технологической схеме, предусматривающей сочетание удобрительных поливов с внесением навоза цистернами-разбрасывателями. При этом они могут использоваться как на неорошаемых, так и на орошаемых площадях. На орошаемых площадях их применяют обычно при внесении бесподстилочного навоза под вспашку или предпосевную обработку почвы.

Смешивание навоза с водой производится в транспортном потоке трубопровода путем установки датчиков расхода навоза и воды. Степень разбавления навоза водой можно программировать автоматически.

При использовании навоза в качестве удобрения по 2-й и 3-й технологическим схемам строительство полевых навозохранилищ, как правило, нецелесообразно. Лучше вместо них иметь небольшие по емкости полевые заправочные станции или гидранты для подачи навоза в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки.

Суммарный объем полевых и прифермских навозохранилищ должен обеспечивать хранение такого количества навоза, которое накапливается за то время, в течение которого его нельзя вывозить и вносить в почву (осеннее и весеннее бездорожье, отсутствие свободных полей и т.д.). Емкость хранилищ проектируется в зависимости от этого периода, поголовья животных и выхода навоза (как правило, не менее чем за 2 месяца). 25–40 % необходимой емкости должно быть в

прифермских навозохранилищах, а 60–75 % – в полевых хранилищах, размещаемых по возможности в центре удобряемых площадей.

Продолжительность хранения в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий колеблется от 2–3 до 5–6 месяцев. При хранении навоза должно быть обеспечено строгое выполнение ветеринарно-санитарных правил, требований по защите окружающей среды от загрязнения в условиях интенсивного использования навоза на удобрение при минимальных затратах. Успешному решению этих задач способствует сокращение расхода воды на удаление навоза и уборку помещений, а также сроков хранения.

При наличии трубопроводов возможно хранение всей массы навоза в прифермских хранилищах. В этом случае прифермские хранилища целесообразно соединять трубопроводами с небольшими полевыми заправочными станциями (или гидрантами) для подачи навоза в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки. Подъездные пути к хранилищам должны иметь твердое покрытие, рассчитанное на передвижение автомобильного транспорта и тракторов класса 3–5 т. Вокруг навозохранилища необходимы водосточные канавки [15].

Навозохранилище обносят изгородью и обсаживают деревьями, закрытые емкости должны иметь вентиляцию, так как при хранении жидкого навоза в них накапливается значительное количество метана, сероводорода, углекислого газа, аммиака и других газов. Категорически запрещается применять открытый огонь для освещения во избежание взрыва.

Жидкий навоз, получаемый на крупных животноводческих комплексах промышленного типа, перед использованием необходимо подвергать обеззараживанию. При отсутствии острозаразных заболеваний на мелких товарных фермах жидкий навоз используют для удобрения без специального обеззараживания. Не допускается лишь дождевание или подкормка таким навозом овощных, плодовых и других культур, употребляемых в сыром виде без предварительной переработки. Не рекомендуется также применение жидкого навоза дождеванием при сильном ветре в сторону населенных пунктов.

При хранении в навозохранилищах бесподстилочный навоз разделяется на три слоя, различные по плотности, содержанию сухого вещества и питательных элементов.

Верхний плотный плавающий слой влажностью 78–84 % не содержит аммиачного азота.

Нижний слой влажностью 84–88 % представляет собой осажденные твердые частицы навоза, песка, ила и также содержит мало аммиака.

Верхний и нижний слои разделяются жидкой фракцией (влажностью 88–94%), содержащей большое количество аммиачного азота. Свиной навоз расслаивается быстрее, чем коровий.

Для надёжной работы насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерного внесения навоза его необходимо систематически перемешивать до однородного состояния. Твёрдые частицы, содержащиеся в навозе, перед закладкой его на хранение необходимо измельчать [2, 14].

Перемешивание (гомогенизацию) разделенного на фракции навоза в хранилище проводят через шесть дней. При наличии трубопроводов всю массу жидкого навоза можно хранить в прифермских хранилищах и перекачивать в небольшие полевые емкости с гидрантами для непосредственной погрузки в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки.

Потери органического вещества и азота при хранении бесподстильного навоза составляют соответственно при зимнем хранении 5–8 и 9–8 %, при летнем – 9–15 и 4–14 %, что значительно меньше, чем при хранении подстильного навоза. В бесподстильном навозе самосогревание отсутствует, температура его не повышается (зимой и весной она составляет около 10 °С, летом – 17 °С) [2, 14].

При перемешивании бесподстильного навоза один раз в неделю потери органического вещества и азота за 4,5 мес. хранения увеличиваются почти вдвое, но это меньше, чем при хранении подстильного навоза [2, 14].

Для снижения потерь органических веществ и азота перед внесением жидкого навоза на поле разбрасывают торф или солому, сразу же заделывают удобрения в почву на глубину 8–10 см. Через 2–3 недели проводят зяблевую вспашку. Жидкий навоз можно вносить и весной, но солому оставляют на поле с осени. В последнем случае ниже материальные и трудовые затраты.

Технология удобрительного полива полей из **передвижного дождевального оборудования** предусматривает поступление жидкого

навоза из прифермских навозохранилищ по трубопроводам в полевое навозохранилище и к насосным станциям. От насосных станций на поля жидкий навоз подается по разборному трубопроводу и разбрызгивается короткоструйными или дальнеструйными дождевальными установками.

На животноводческих комплексах жидкий навоз может разделяться на твердую и жидкую фракции. Первая используется на компосты или для непосредственного внесения под культуры навозоразбрасывателями, вторая – на удобрение из дождевальных установок. Разделение навоза на фракции может быть механическим и естественным (в отстойниках).

Твердая фракция жидкого навоза крупного рогатого скота содержит 0,35 % азота, 0,14 – фосфора, 0,25 % калия, жидкая – соответственно 0,24, 0,03 и 0,24 %. Жидкая фракция по содержанию аммиачного азота не уступает минеральным азотным удобрениям. Она содержит 75–80 % питательных веществ, имевшихся в навозе, и представляет собой хорошее удобрение, которое хранят в навозохранилищах. Оптимальная доза жидкой фракции навоза – 100 м³/га за один полив (120 кг/га азота) [2, 14].

Твердая фракция бесподстилочного навоза по удобрительным свойствам близка к подстилочному навозу. Твердую фракцию, имеющую влажность 65–67 %, укладывают в штабеля и используют для удобрения так же, как и подстилочный навоз [2, 14].

В структуре органических удобрений большой удельный вес занимает жидкий и полужидкий навоз, в котором соотношение углерода и азота составляет 1:7, что неблагоприятно для накопления гумуса в почве. [2, 14].

Поэтому внесение этих удобрений должно сочетаться с использованием удобрений с высоким содержанием углерода: соломой, опилками, торфом, кострой, лигнином и др. Полужидкий навоз компостируется с торфом, соломенной резкой.

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 зеленого корма.

Дозы внесения жидкого навоза под сельскохозяйственные культуры определяются по азоту. Дозы внесения жидкого навоза дифференцируются также в зависимости от типа и гранулометрического состава почв. Так, для дерново-подзолистых суглинистых почв предельная доза органического азота – 250 кг/га, супесчаных на морене – 230, супесчаных и песчаных на песках – 200, торфяно-болотных – 150 кг/га. [2, 14].

За счет бесподстилочного навоза растения могут удовлетворять только часть своей потребности в азоте, для сахарной свеклы максимальный уровень органического азота составляет 75 %, картофеля – до 80, кукурузы и многолетних трав – 75, пожнивных культур – 100 % от общего выноса.

Бесподстилочный навоз вносится и как предпосевное удобрение, и как подкормка. На тяжелых почвах его можно вносить весь теплый период года, а на легких во избежание вымывания азота – только весной под яровые или летом под озимые культуры. При поверхностном внесении его необходимо немедленно заделать в почву [2, 14].

Под многолетние травы, на естественных сенокосах и орошаемых культурных пастбищах годовую дозу навоза вносят дробно равными частями в 2–4 срока рано весной и после укосов или стравливания зеленой массы [2, 14].

На лугопастбищных угодьях нельзя вносить жидкий навоз из цистерн. Летом его вносят из дождевальных установок сразу после стравливания или скашивания, с тем чтобы после внесения удобрения до очередного использования прошло не меньше трех недель [2, 14].

Хорошо после внесения отаву полить чистой водой, это значительно улучшит качество корма [2, 14].

Экологически самый безопасный способ внесения жидкого навоза – заделка его в почву во время междурядной обработки пропашных культур. Такое внутрипочвенное внесение повышает урожайность основных кормовых культур (свеклы, кукурузы, трав и др.) не менее чем на 10–15 % и в 7–10 раз снижает потери питательных элементов [2, 14].

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 – косилками-измельчителями. Затем солому и внесенный навоз заделывают в почву на глубину пахотного слоя.

Рациональный способ использования бесподстилочного навоза – компостирование его с торфом, соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т ее берут 3–4 т бесподстилочного навоза. На ровную грунтовую обвалованную с трех сторон площадку (одна торцовая сторона остается открытой) завозят солому, разравнивают и уплотняют ее. На соломенную подушку шириной 0,7–10 м с помощью цистерны-разбрасывателя наносят жидкий навоз. Затем из компостируемой массы формируют бурт, укрывают его землей или торфом и оставляют до созревания.

Влияние бесподстилочного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур не менее сильное, чем подстилочного, а в первый год после внесения даже выше, так как бесподстилочный навоз снабжает растения в основном азотом, а подстилочный – калием. Из жидкого навоза культуры используют азота в два раза больше, чем из подстилочного, а фосфора и калия примерно на 10%.

Эффективность бесподстилочного навоза повышается при совместном применении с калийными и фосфорными удобрениями. Более сильное воздействие бесподстилочного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур в год внесения по сравнению с подстилочным навозом и компостами объясняется большим содержанием в первом растворимых питательных элементов.

При использовании бесподстилочного навоза, особенно при нарушении технологий его внесения, существует опасность загрязнения поверхностных водоемов, грунтовых вод, почвы и воздуха [2, 14].

В поверхностных и грунтовых водах может увеличиться содержание нитратов. При ежегодном внесении его в больших количествах на одни и те же земельные участки может ухудшиться санитарное состояние почвы, происходит избыточное накопление калия, кальция, магния, натрия, тяжелых металлов, ионов хлора и сульфатионов, что

отрицательно сказывается на химических и физических свойствах почвы и даже может приводить к ее засолению [2, 14].

Внесение больших доз бесподстилочного навоза чревато повышением содержания нитратов в растениях, особенно в ранние фазы их развития [2, 14].

Навозные стоки образуются при разбавлении экскрементов технологической водой, например при гидросмыве. Они содержат более 97 % влаги и небольшое количество элементов питания. Так, в навозных стоках комплекса по выращиванию и откорму свиней (108 тыс. голов) содержится 0,14 % азота, 0,035 – фосфора и 0,039 % калия. Наиболее целесообразно использовать их для удобрительных поливов. При этом происходит естественная очистка навозных стоков почвой.

Концентрация азота в навозных стоках при внесении их на посевы большинства сельскохозяйственных культур не должна превышать 1000 мг/л.

Навозные стоки нельзя использовать на полях с уровнем грунтовых вод меньше 1 м при глинистой и суглинистой почве и менее 1,5 м – при песчаном грунте, а также при уклоне более 3°.

В опытах при дождевании многолетних трав осветленными стоками свиного комплекса при расходе 100, 200, 300, 400 м³/га за один полив выход сена за три укоса увеличивался в зависимости от дозы до 9,27–11,31 т/га, тогда как без полива он составлял 5,62 т/га. Количество нитратов и соотношение К: (Са + Mg) находились в допустимых пределах, не отмечено загрязнение почвы аммиачным и нитратным азотом, основная масса аммиачного и нитратного азота находилась в слое почвы до 40 см.

Для эффективного использования бесподстилочного навоза в качестве удобрения необходимо соблюдать следующие требования: норму внесения определять по потребности растений в азоте в расчете на планируемый урожай с учетом содержания его в навозе, коэффициента использования, степени окультуренности почвы и наличия удобрений в хозяйстве.

В осеннее время бесподстилочный навоз рекомендуется вносить на полях с дерново-подзолистыми суглинистыми и связносупесчаными, подстилаемыми моренными суглинками, почвами, с обязательной заделкой. Следует избегать внесения навоза в зимний период на

затопляемых весной участках, а также на склонах, где возможен смыв удобрений талыми водами.

На склонах можно применять жидкий навоз только лишь при условии своевременной заделки в почву. Одним из приемов повышения эффективности применения жидких удобрений является технология внутрпочвенного внесения жидкого навоза, позволяющая существенно снизить загрязнение окружающей среды и использовать жидкий навоз на полях со сложным рельефом.

Наиболее целесообразно жидкий навоз заделывать в биологически активный слой пахотного горизонта. В зависимости от влажности и плотности почв наибольшая биологическая активность наблюдается в слое 7–17 см, заделка навоза на эту глубину может осуществляться плугом, дисками и культиватором. Более глубокая заделка жидкого навоза по экологическим и экономическим причинам нецелесообразна, т.к. увеличивается опасность загрязнения грунтовых вод водорастворимыми органическими соединениями.

Главное условие эффективного его использования – **равномерное внесение и своевременная заделка** в почву.

До начала строительства животноводческих комплексов вопросы использования бесподстилочного навоза тщательно согласовываются с предприятиями растениеводства, специальными органами ветеринарной службы, санитарной инспекции, водного хозяйства и охраны окружающей среды.

Для окончательного принятия решения о строительстве животноводческого комплекса необходимо располагать точными данными об имеющихся земельных площадях для использования бесподстилочного навоза с учетом допустимой нагрузки на единицу сельскохозяйственных угодий, наличия чистой воды для разбавления бесподстилочного навоза при использовании дождевой, коммунальных и промышленных сточных вод и других факторов.

10.3. Птичий помет

Птичий помет – ценное быстродействующее органическое удобрение. В зависимости от особенностей технологии выращивания птицы помет может быть *подстилочный* – при содержании птицы на глубокой несменяемой подстилке и *бесподстилочный* – при клеточном

содержании кур-несушек. От вида птицы, возраста, типа кормления и содержания птицы зависит химический состав помета [2, 14].

Куриный помет по своим удобрительным качествам превосходит навоз, а по скорости действия не уступает минеральным удобрениям. Помет гусей и уток более водянист и по содержанию питательных веществ приближается к обычному навозу. За год от 100 кур можно собрать 6–8 ц помета, от уток – 8–9 и от гусей – 10–12 ц. Помет содержит также и микроэлементы. Так, в 100 г его сухого вещества содержится 15–38 мг марганца, 12–39 – цинка, 1–1,2 – кобальта, 1–2,5 – меди и 300–400 мг железа [2, 14].

Половина азота, содержащегося в помете, 4 % фосфора и 60 % калия находятся в водорастворимой форме. Помет отличается повышенной липкостью, поэтому его трудно вносить в почву существующей техникой. Из-за наличия взвесей в пометных стоках они плохо вносятся и дождевальными установками. Радиус транспортировки жидкого помета по экономическим соображениям ограничен до 5 км, поэтому на удобрение более целесообразно применять подстилочный помет, пометные компосты и в отдельных случаях сухой помет.

При производстве подстилочного помета используют различные органические материалы: торф, измельченную мякину, древесные опилки и др. Влажность торфа не должна превышать 50 %, других видов подстилки – 30 %. Подстилка способствует консервации питательных веществ помета и сокращению их потерь.

Применение глубокой подстилки в птичниках является наиболее надежным приемом для сохранения азота в помете, улучшения физических свойств помета, снижения затрат труда и повышения продуктивности кур. Лучший материал для глубокой подстилки – сухой измельченный сфагновый торф с примесью измельченной соломы. Для подстилки можно использовать также сухую торфяную крошку низинного торфа, солому, мякину, древесные опилки. На пол птичника торф засыпают слоем 30–40 см [18].

По мере загрязнения подстилку перемешивают с нижними слоями. Очистку птичника производят 2–3 раза в год. Можно закладывать глубокую подстилку и иным способом. Первоначально настилают ее слоем 5–10 см. По мере загрязнения подстилку перекапывают и настилают новый слой в 5–6 см и так поступают до тех пор, пока толщина

слоя достигнет 40–60 см. Очистку птичника в этом случае производят также 2–3 раза в год.

Влажность подстилочного помета колеблется от 30 до 50 %. Наиболее высокого качества пометное удобрение получают на основе торфа и соломы, используемых в качестве подстилки [2, 14].

Потери азота из птичьего помета можно также предотвратить добавлением к нему суперфосфата в количестве 6–10 % от веса сырого помета. Суперфосфат добавляется к помету только после удаления его из птичника. Полученное из помета и суперфосфата концентрированное удобрение вносят под пропашные культуры (картофель, овощи) по 4–5 т/га, под зерновые – 2–2,5 т/га [2, 14].

Азот в помете содержится в форме мочевой кислоты, которая легко разлагается с образованием аммиака и угольной кислоты. При горячем хранении помета за три месяца теряется половина азота, большая часть фосфора и калия. Поэтому помет нужно хранить холодным (плотным) способом с добавлением до 40 % сухого торфа, 1,5–2 % хлористого калия и 7–10 % суперфосфата или фосфогипса. Через 6 месяцев хранения потери органического вещества в помете достигали 23,1 %, азота – 30,2, фосфора – 12,3 и калия – 10,3 %.

В свежем курином помете, как правило, нет летучих форм азота, но при хранении в кучах он сильно разогревается и вследствие энергичного превращения мочевой кислоты в аммиачные соединения азот теряется. Потери азота при таком хранении за 1,5–2 месяца могут достигать 30–60 % от общего его содержания в помете. Эти потери можно устранить, если свежий помет компостировать с торфом, перегноем, соломой, опилками, дерниной и даже с почвогрунтом.

Бесподстилочный куриный помет представляет собой липкую мажущуюся массу и при влажности 64 % содержит около 2 % азота, в том числе 0,5% – аммиачного, 1,4 – фосфора и 0,6 % – калия. Свежий бесподстилочный помет, который еще не содержит аммонийного азота, можно подвергнуть быстрой сушке на сушильных установках при температуре 600 – 800 °С [2, 14].

Из 1 т сырого помета получается 300–350 кг гранулированного или порошкообразного концентрированного органического удобрения влажностью 15–20 %. При влажности 20 % оно содержит: N – 4,5 %, P₂O₅ – 3,7, K₂O – 1,8, CaO – 4,5, MgO – 1,6 % [2, 14].

Азотистые соединения представлены главным образом белками и продуктами их распада; рН 6,8–7,8 [2, 14]. Термически высушенный помет является в значительной степени обеззараженным и биологически малоактивным материалом, пригодным для длительного хранения. Однако сушка помета требует больших энергетических затрат и может применяться лишь на тех птицефабриках, которые расположены вблизи городов или зон отдыха, где невозможно утилизировать его другим способом.

Сухой помет гранулируют, гранулы имеют почти сферическую форму (купогран) и могут быть трех размеров: 0,4–1,0 мм; 1,0–2,0; 2,0–2,6 мм (соответственно купогран № 1, № 2 и № 3). Купогран № 1 содержит 3,7 % азота (в том числе 0,5 % аммиачного), 4,98 % калия и 3,35 % фосфора; № 2 и № 3 соответственно: азота – 2,7 % (0,25 % NH_4) и 4,0 % (0,5 % NH_4), калия – 10,3 и 4,99 и фосфора – 3,15 и 3,5. Купогран, внесенный в эквивалентных минеральным удобрениям дозах по содержанию азота, фосфора и калия, дает такие же результаты [2, 14].

Компостирование помета с низинным и верховым торфом позволяет избежать больших потерь органического вещества и элементов питания. Компостирование помета является эффективным приемом его утилизации, увеличения выхода удобрений на его основе и защиты окружающей среды от загрязнения. Наиболее распространены торфопометные компосты.

Для получения высококачественного компоста, сбалансированного по элементам питания, уменьшения потерь азота, увеличения биологической активности рекомендуется на 1 т компостной массы добавлять 10–20 кг порошковидного суперфосфата или 20 – 30 кг фосфоритной муки. Можно использовать фосфогипс в количестве 5 – 10 % от массы общего компоста.

Добавление в компосты 1,5 – 2 % хлористого калия предохраняет бурты зимой от промерзания. Для быстрого и оптимального протекания процессов в компостах смесь должна удовлетворять требованиям: влажность 65–70 %, отношение С : N от 20 : 1 до 30 : 1, рН 6-8. Перебивку штабелей проводят при снижении температуры в нем до 30–35 °С.

Компост считается созревшим, если температура в штабеле после перебивки больше не повышается. Процесс компостирования длится 1–2 месяца. Хранение компостов более трех – шести месяцев,

нерационально. Пометные компосты по эффективности не уступают подстилочному навозу, а в отдельных случаях его превосходят.

Поскольку помет является в основном азотно-фосфорным удобрением, то его использование обуславливает необходимость применения калийных удобрений.

Жидкий птичий помет можно разделить на твердую и жидкую фракции. При естественном разделении твердая фракция накапливается в горизонтальных отстойниках, а осветленная часть поступает в накопители. Однако выгрузка твердой фракции из отстойников затруднена. Жидкий помет содержит 5–8 % сухого вещества, 0,24 – азота, 0,21 – фосфора и 0,12 % калия; жидкая фракция – 0,16 % азота, 0,06 – фосфора и 0,10 % – калия [2, 14].

Пометные удобрения целесообразно использовать в первую очередь под пропашные, затем под озимые и травы в качестве основного удобрения и в подкормки. В районах достаточного увлажнения помет и его компосты можно заделывать дисковыми орудиями и культиваторами, на песчаных и супесчаных почвах более эффективно запашивание компостов. Заделку органических удобрений, в том числе и пометных компостов, хорошо проводить плугами при одноразовом внесении удобрений на ряд лет севооборота [2, 14].

Вносятся помет при естественной влажности *перед севом под пропашные культуры* в дозе 15–20 т/га, овощные – 20 – 25, под озимые зерновые культуры – 13 – 15 т/га. Дозы сухого помета для пропашных культур 4 – 5 т/га, овощных 6 – 8, зерновых культур – 3 – 4 т/га. Для подкормки культур используют 3–10 ц/га сырого помета, при внесении в лунки или борозды – 4–6 ц на 1 га. Для некорневой подкормки помет разбавляют водой в 6–7 раз. Птичий помет можно использовать для весенней подкормки озимых зерновых культур (2 т/га), а также для удобрения сенокосов и пастбищ (10–15 т/га) [2, 14].

Сухой птичий помет – хорошее удобрение для полевых и овощных культур. Из него можно приготовить «искусственный» навоз, смешивая с соломой в соотношении 1:10. Для этого солому укладывают слоями 15–20 см в бурт, пересыпая пометом и обильно поливая водой из шланга. За неделю температура внутри бурта поднимется до 60 °С. Через месяц бурт разбивают и снова укладывают, поливая водой.

В год после внесения из помета в среднем усваивается 50 % азота, 20 – фосфора, 70 % – калия. Степень использования основных

элементов питания зависит от доз, гранулометрического состава почвы и биологических особенностей растений.

В год внесения по воздействию на урожай сельскохозяйственных культур, качество продукции помет ближе к минеральным удобрениям, чем к навозу, а по проявлению в последующие годы – к последнему.

10.4. Торф

Торф – это растительная масса, разложившаяся в разной степени в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха. Торф – важный невозобновляемый источник увеличения ресурсов органических удобрений. Его широко используют в подстилку и для приготовления различных компостов, тепличных и рассадных грунтов [2, 14]. Торф включает негумифицированные растительные остатки, перегной и минеральные соединения.

Торфяные болота, как известно, играют исключительно важную экологическую роль в регуляции биоклиматических условий в масштабах планеты и прилегающих регионов.

Торфяники – уникальное создание природы, позволяющее 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.

Расчеты показывают, что разведанные извлекаемые запасы торфа, при нынешних масштабах добычи могут исчерпаться в течение жизни одного-двух поколений людей.

Для подстилки и приготовления компостов он должен применяться в минимальных объемах (средняя норма, обеспечивающая утилизацию экскрементов, – 300 кг торфа на тонну). Торф разделяют на две большие группы: **нормально-зольный** (содержание золы до 12 % на сухое вещество) и **высокозольный**. Торфяные болота в зависимости от условий образования и характера преобладающей растительности делят на два типа: **верховые** и **низинные**. Торф различных типов болот различается по агрохимическим свойствам и качеству [2, 14].

Верховой торф образуется на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пушицы и других растений, не требовательных к элементам питания и влаге [2, 14].

Низинный торф образуется в пониженных частях рельефа из гипновых мхов, травянистых, древесных и других влаголюбивых и требовательных к питательным элементам растений [2, 14]. Таким образом, вид торфа определяют растения-торфообразователи, от которых и зависят его свойства (зольность, кислотность, влагоемкость, степень разложения и т.д.).

Степень разложения до 20 % гумусовых веществ принято считать **низкой**, от 20 до 40 – **средней** и свыше 40 – **высокой**. Степень разложения устанавливают при проведении специальных анализов (центрифугированием или под микроскопом), но приблизительно ее можно определить и по внешним признакам.

Торф с низкой степенью разложения не продавливается между пальцами, вода из него легко выжимается и имеет слегка желтоватый оттенок. При высокой степени разложения торф продавливается между пальцами, а вода выдавливается редкими каплями коричневого цвета.

Торф богат азотом, но беден фосфором и очень беден калием. Азот торфа представлен органическими соединениями и труднодоступен растениям. Фосфор также в основном присутствует в органической форме, а в минеральных соединениях он связан с кальцием, алюминием [2, 14].

Торф с содержанием вивианита $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (28,3 % P_2O_5), встречающийся в некоторых месторождениях, можно использовать в качестве удобрения без компостирования, устанавливая дозу внесения по фосфору.

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 разложению, минерализация органических соединений азота происходит крайне медленно. Многие виды торфа имеют кислую реакцию, что также затрудняет их разложение в почве [2, 14].

Микроорганизмов в торфе из-за кислой реакции, недостатка растворимых форм азота и легкодоступных органических веществ очень мало. При активизации торфа увеличивается количество микроорганизмов, которые и минерализуют гумусовые и другие вещества торфа [2, 14].

Поэтому эффективность торфа при внесении в чистом виде в 3–5 раз ниже, чем при его компостировании. Использование торфа в чистом виде на удобрение малоэффективно и неоправдано с экономической точки зрения. Это допустимо только по отношению к сильно-разложившемуся высокозольному низинному торфу с нейтральной реакцией, вблизи мест его заготовки, и торфу, богатому известью (торфотуф) или фосфором (вивианитовый торф) [2, 14].

Эффективность торфа повышается при компостировании с биологически активными органическими удобрениями – навозом, навозной жижей, фекалиями или с минеральными удобрениями (фосфоритной мукой), известью, золой и др [2, 14].

Эффективность торфа как удобрения зависит от скорости разложения органического вещества. Активизируют эти процессы навоз, навозная жижа, фекалии, минеральные удобрения, температурный фактор. Иногда большой эффект дает внесение проветренного низинного торфа, особенно на легких почвах, но это требует больших доз, а следовательно, чревато быстрой выработкой его запасов. Такой торф лучше использовать для мульчирования почвы и приготовления торфоперегнойных горшочков [2, 14].

Верховой торф используется исключительно на подстилку скоту. Удобрительная ценность торфяного навоза выше, чем торфо-навозного компоста [2, 14].

10.5. Компосты

Компосты (от лат. *compositus* – составной) – органические удобрения, получаемые в результате разложения смеси навоза с торфом, землей, растительными остатками, фосфоритной мукой и т.п. под влиянием деятельности микроорганизмов [2, 14].

Высококачественный компост представляет собой однородную, темную, рассыпчатую массу влажностью не более 75 %, с реакцией, близкой к нейтральной. Он должен содержать элементы питания в доступной для растений форме [2, 14].

Для приготовления компостов используют навоз, птичий помет, торф, осадки сточных вод, бытовые и промышленные отходы, содержащие органическое вещество. С учетом агрохимической характеристики почв и биологических особенностей культур к компостной смеси могут добавляться минеральные компоненты [2, 14].

Компостирование позволяет более полно использовать природные, бытовые и промышленные источники органического сырья, увеличить выход удобрений. При приготовлении компостов в результате биотермических процессов погибают патогенные микроорганизмы и теряют жизнеспособность семена сорных растений, а само удобрение становится более концентрированным, биологически активным, содержит легкоусвояемые для растений питательные элементы. Кроме того, компосты обладают хорошими физико-механическими свойствами – сыпучестью, они транспортабельны, не прилипают к рабочим органам сельскохозяйственных машин и орудий.

Компостирование наиболее активно протекает при положительной температуре окружающей среды, оптимальных условиях влажности и высокой степени аэрации массы в начале процесса. Зимой компостная масса замерзает, и микробиологическая деятельность практически прекращается. Компостные смеси, приготовленные зимой, после оттаивания перемешивают, после чего начинается биотермический процесс [2, 14].

Для ускорения разложения органического вещества, сокращения потерь аммиачного азота и повышения концентрации питательных элементов в компостируемую массу добавляют фосфоритную муку (2–3 % по массе) и в случае высокой кислотности – известковые материалы (1–2 %) [2, 14].

Правильно приготовленные компосты по удобрительной ценности не уступают навозу [2, 14].

В соответствии с техническими условиями для компостирования используют торф влажностью до 50 %, помет – до 90 %, навоз – до 92 %. Смесь должна иметь влажность 65–70 %, быть сыпучей. Содержание фосфора – 1,2–1,3 % на абсолютно сухое вещество. В зависимости от компонентов компосты бывают торфонавозные, торфожижевые, торфопометные, торфофекальные, навозолигнинные, компосты из бытовых отходов и сборные [2, 14].

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 [2, 14].

Благодаря высокой поглотительной способности торф полностью связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, при этом потери азота из навоза резко уменьшаются.

Чем выше степень разложения торфа, тем больше торфа и меньше навоза можно брать для приготовления компоста. 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. Хорошо приготовленный торфонавозный компост не уступает по эффективности навозу.

Торфонавозные компосты лучше готовить около животноводческих помещений. Уплотнять компостируемую массу не нужно, так как в рыхлой структуре быстрее разлагаются органические вещества. Готовят компосты *очаговым, послойным, площадочным, цеховым и другими способами* [2, 14].

Очаговый способ пригоден для зимнего компостирования при температурах до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. На слой торфа толщиной 30 см укладывают навоз кучами по 200–300 кг через 1 – 1,5 м, затем снова насыпают торф слоем 50 см. Длина бурта произвольная, ширина у основания 4–6 м, высота – до 3 м. В оттепель, при стабильных плюсовых температурах массу перемешивают. Время созревания компоста – 3–4 мес [2, 14].

Послойный способ годится для любого времени года. Попеременно укладывают слой торфа 40 см и слой навоза 25 см до высоты 2 м, завершают бурт слоем торфа 50 см [2, 14].

Площадочным способом пользуются при температуре не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. На торфяную подушку слоем 20–30 см равномерно укладывают навоз. Затем бульдозером (на площадках с твердым покрытием) или тяжелой дисковой бороной (на грунтовых площадках) их перемешивают и сгребают массу для хранения на месте или вывозят в поле, где складывают в бурты [2, 14].

Площадки для приготовления компостов размещают не ближе чем 15 м от помещений, где содержатся животные, 60 м – от молочного блока и 300 м – от жилой застройки и артезианских скважин, а по расположению на местности – ниже всех этих строений. Место должно быть ровным, с твердым покрытием, с пленочным защитным экраном, иметь ограждения (водонепроницаемые борта), а также устройства для сбора и отвода ливневых вод [2, 14].

Цеховым способом – круглогодично (в цехе) приготавливают смеси (компосты) смесителями РСП-10, ПРТ-10 и ПРТ-16 [2, 14].

В торфонавозных компостах в среднем содержится 0,6–3,5 % азота, 0,2–1 – фосфора, 0,6–1,5 % – калия [2, 14].

Торфожижевые 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 [2, 14].

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 навозную 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 [2, 14].

Аналогично можно заготовить компосты из торфа и жидкого навоза с соотношением 1:1 или 2:1.

При хранении компоста в нем энергично протекают процессы нитрификации аммиака, а затем образующиеся нитраты подвергаются денитрификации с выделением 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 (хлор подавляет нитрификацию). Для обогащения компоста фосфором при компостировании используют фосфоритную муку (20–30 кг на 1 т компоста).

Торфожижевые компосты можно вносить через 1–1,5 мес. 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. 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 компостировании 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 для растений форму.

Для полного обеззараживания торфофекальные компосты в течение 2–3 мес нужно выдерживать в штабелях без уплотнения. Необходимо, чтобы температура в компостируемой массе поднялась до 60 °С.

Смешивать с фекалиями можно все виды торфа. Соотношение компонентов зависит от степени разбавления фекальных масс, влажности и степени разложения торфа [2, 14].

На 1 т торфа добавляют около 0,5 т фекалий. Фекалии обычно содержат 0,5–0,8 % азота, 0,2–0,4 – фосфора и 0,3–0,4 % – калия. Лучше вносить торфофекальные компосты на второй год после закладки, не рекомендуется применять их под овощные культуры [2, 14].

Торфопометные компосты из одной части помета и двух частей торфа готовят на птицефабрике или в хозяйстве. Компост из помета (1 часть) и почвы (1,5 части) приготавливают на краю удобряемого поля, компост из помета (3 части), опилок (2 части) – на птицефабрике [2, 14].

Для ускорения разложения в эти компосты добавляют навозную жижу или азотное удобрение (2,8 кг аммиачной селитры или 2,2 кг мочевины на 1 ц компостируемой массы). Компост созревает от трех месяцев до двух лет в зависимости от компонентов, температуры, влажности, условий аэрации и др. Очень медленно разлагаются опилки и другие отходы хвойных деревьев [2, 14].

Компост готовят также из коры (1,5 части) и помета (1 часть), добавляют навозную жижу или азотные удобрения. Из-за низкого содержания питательных элементов (в 2 раза меньше, чем в навозе) транспортировка такого компоста на расстояние более 4 км нецелесообразна [2, 14].

Опилки, правда, менее эффективно можно использовать и без компостирования, но их необходимо обработать раствором азотных удобрений или коровяка (на 10 л воды 200 г мочевины или 3 л свежего коровяка). Ведром такого раствора можно увлажнить три ведра опилок.

В торфопометных компостах азота обычно не менее 0,7 %, фосфора – 0,45 и калия – 0,38 %, влажность 70%. Дозы торфопометного компоста составляют для картофеля 40 – 50 т/га, кукурузы и овощных культур 40 – 60, зерновых культур – 20 – 25 т/га [2, 14].

Пометноопилочный компост содержит 0,5 % азота, 0,35 – фосфора и 0,25 % – калия. Компосты с корой содержат питательных элементов в 2 раза меньше, поэтому их вносят в дозах вдвое больших, чем навоз, и дополнительно вносят в почву 2,5 кг азота на 1 т компоста – сверх потребности в нем растений. Пометнопочвенный компост при влажности 45 % содержит общего азота 0,23 %, фосфора – 0,16 и калия – 0,07 %. **Торфоминеральные компосты** готовят из расчета 1 т торфа (рН меньше 5) и 25–50 кг золы или доломитовой муки (1–3 % массы торфа). Можно использовать также фосфоритную муку. Через 15–20 см слой торфа пересыпается одним из минеральных компонентов [2, 14].

Торфорастительные компосты готовят на торфяниках, запашивания в них выращенные там бобовые растения. Через 20 дней верхний слой сгребают в валы высотой до 2 м и выдерживают 1–2 мес. Хороший компост получается при компостировании скошенной массы люпина (1:1).

Для приготовления компостов из растительных остатков (солома, ботва, опавшие листья, сорные травы и др.) их укладывают попеременно с торфом (20 см) до высоты 2 м (первый и последний слой – торф). Для ускорения компостирования и улучшения качества удобрения бурт по мере высыхания поливают навозной жижей (фекалиями) и вносят азотные удобрения и фосфоритную муку.

Смешанные (сборные) компосты готовят из торфа, листьев, опилок, ила (добавляя тонкие ветки), ботвы, дерновой земли, домового мусора, бумаги, золы, извести (2–3 % массы) и других отходов. Через каждые 20–30 см компоненты поливают фекалиями или водой и укрывают слоем земли 6 см. Через два месяца компост перелопачивают [2, 14].

Для ускорения разложения отходов добавляют по 15 кг аммиачной селитры и суперфосфата на 1 т компоста. Созревает такой компост от 3 до 12 мес. – пока, как и любой другой, не превратится в однообразную землистую массу [2, 14].

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 необходима система специальных машин [2, 14].

Для компостирования может быть использован **гидролизный лигнин** – отходы гидролизно-дрожжевой промышленности. Лигнин – одно из самых распространенных в природе органических веществ. Лигнин входит в состав одревесневших клеточных стенок всех наземных растений [2, 14].

Гидролизный лигнин – отход гидролиза древесины, не растворимый в воде, включает собственно лигнин, остатки полисахаридов, минеральных и органических кислот, зольные элементы (до 10 %), азот, фосфор, калий, а также примеси (смолы, воск). Плотность лигнина – 1250–1450 кг/м³ [2, 14].

Лигнин и продукты на его основе при использовании в качестве органических удобрений улучшают структуру почв. Обладая высокой поглощательной способностью, лигнин предупреждает вымывание питательных элементов, повышая тем самым эффективность минеральных удобрений.

Перспективно использование лигнина как микроудобрения. Из-за больших объемов накопления гидролизный лигнин в качестве органического удобрения может сыграть определенную роль в увеличении количества применяемых органических удобрений. В почве лигнин под действием кислорода и почвенных микроорганизмов разрушается и участвует в образовании органического вещества. Как и гумус, обладает способностью к комплексообразованию.

Строение лигнина и фрагментов гуминовых кислот во многом сходно, поэтому он участвует в почвообразовательных процессах, в формировании почвенного плодородия, улучшает условия питания растений и структуру почвы.

Лигнин легко взаимодействует с аммиаком и образует продукт, содержащий 1,5–2,0 % химически связанного азота (в расчете на абсолютно сухое вещество). Однако будучи обработан известковыми материалами или фосфоритной мукой, лигнин связывает уже наполовину меньше азота (0,76 %).

Для увеличения содержания гумуса в низкоплодородных почвах вместо навоза лучше вносить торфонавозные и лигнинонавозные компосты, так как навоз быстро минерализуется и почва меньше обогащается гумусом. Лигнинонавозный компост в опытах был эффективнее, чем компосты из лигнина и помета [34].

Перед приготовлением компостов лигнин нейтрализуют. На ровной площадке (50×100 м) машиной АРУП-8 тонким слоем наносят доломитовую муку, сверху бульдозером нагребают слой лигнина 15–18 см и снова АРУП-8 – слой доломитовой муки (30–35 кг на тонну лигнина). Массу перемешивают БДТ-3 восьмикратным проходом, после чего бульдозером делают бурты, в которых она выдерживается от 3 до 12 мес. – пока не достигнет рН 6,2. Нейтрализованный таким образом лигнин завозят в хозяйства, где готовят лигнинонавозные компосты (1:1), лучше это делать весной и летом. Во время компостирования включают только периоды со среднесуточной температурой выше +10 °С. [2, 14].

Для ускорения компостирования бурты не делают высокими (не более 1,5 м), а компоненты хорошо перемешивают. Для усиления микробиологических процессов и ускорения гумификации в компостируемую массу добавляют фосфоритную муку (2–3%). Ее распределяют по лигнинной подушке, перемешивают. Затем на подушку накладывают слой навоза, снова все перемешивают и сгребают смесь в бурт. При благоприятной температуре окружающей среды в смеси также повышается температура. При температуре 40–60 °С процесс компостирования продолжается не менее 100–120 дней [2, 14].

Перед использованием компосты должны быть проверены агрохимической службой (кислотность, влажность, содержание основных питательных элементов и равномерность их распределения). [2, 14].

В лигнинонавозном компосте содержится 0,35 % N, 0,34 – P_2O_5 и 0,38 % – K_2O . Пометнолигниновый компост (1:1) содержит 0,8 % азота, 0,4 – фосфора и 0,19 % – калия. [2, 14]. Правильно приготовленные лигниновые компосты за четыре года действия дополнительно

дают 12–16 ц/га к.ед. В опытах урожайность озимой ржи в год внесения лигниновых компостов увеличивалась на 3,0–3,3 ц/га, картофеля – на 26–29 ц/га, а на второй год была получена прибавка зерна ячменя от 2,7 до 3,4 ц/га.

Нетрадиционные органические удобрения. Отходы городского хозяйства также могут использоваться как удобрение. В среднем в городском мусоре содержится 0,6–0,7 % азота, 0,5–0,6 – фосфора и 0,6–0,8 % – калия (в сухом веществе) [2, 14].

Перед компостированием из него удаляют металлические и стеклянные предметы. Мусор компостируют в поле на специальных площадках. Бурты делают или наземными, или в неглубоких (до 0,5 м) траншеях. В основание (3–4 м шириной) укладывают слой торфа 15 см. Бурт делают сверху шириной 2–3 м, высотой до 2 м, длина произвольная. Сверху засыпают землей 15–20 см.

Продолжительность компостирования – около 18 мес. Мусор не уплотняют, а наоборот, увеличивают доступ воздуха. Добавляют навозную жижу, фекалии, минеральные удобрения, перелопачивают. Вносят компост из городского мусора задолго до сева (например, под яровые с осени) [2, 14].

Основную долю твердых бытовых отходов городов составляют бумажные и органические пищевые компоненты, при этом состав мусора значительно изменяется по сезонам. Бытовые отходы имеют высокую степень биологического загрязнения, могут быть опасны в эпидемиологическом отношении и требуют обеззараживания. В качестве органических удобрений используется также **осадок сточных вод**.

После выдержки на площадках с твердым покрытием он превращается в твердую сыпучую массу, которая должна содержать 40 % органического вещества (от массы сухого вещества), 1,6 – азота, 0,6 – фосфора, 0,2% – калия, рН 6,7–7. Состав сточных вод, их осадка (ОСВ) и образующегося при биологической очистке ОСВ активного ила сильно различается в зависимости от вида, производства. Например, содержание основных элементов питания растений в осадке сточных вод может колебаться и составляет: азота – 1–7 %, фосфора – 1–4, калия – 0,2–3 % [2, 14].

Компост из осадка сточных вод с торфом готовят в соотношении 1:2 с добавлением 15 кг извести на тонну компоста. Срок созревания – два месяца летом и четыре – зимой [2, 14].

Твердые и жидкие отходы жилищно-коммунального хозяйства и промышленных производств могут сильно загрязняться тяжелыми металлами, органическими и минеральными кислотами, фенолами, полиароматическими углеводородами, радиоактивными веществами, а также вредными микроорганизмами.

Использовать эти отходы можно только после компостирования и соответствия исходных компонентов и компостов установленным требованиям качества и безопасности.

Компосты из твердых бытовых отходов и ОСВ (а также приравненного к ним по важнейшим агроэкологическим нормативам активного ила) должны иметь влажность не более 50 %, содержать соответственно не менее 35 и 45 % органических веществ в расчете на сухую массу с долей гуминовых веществ не менее 5 %, азота, фосфора и калия соответственно 1,0; 0,4; 0,3 и 1,5; 1,0; 0,2 % на сухую массу, соотношение С:N – не более 30, размер частиц соответственно не более 25 и 8 мм.

Содержание пластических масс в компосте из твердых бытовых отходов должно быть не более 0,9 %, а прочих балластных включений – не более 2,5 %.

Из твердых бытовых отходов крупных городов компосты готовят на заводах. Такие компосты содержат примерно 0,8 % азота, в том числе 0,05 – аммонийного, 0,5 – фосфора и 0,5 % – калия. Они могут содержать большое количество тяжелых металлов и вносить их можно только с разрешения санитарной и агрономической служб. Лучше всего компосты на основе осадка сточных вод и бытовых отходов использовать в цветоводстве, а также при озеленении территорий и в лесопарковом хозяйстве.

Древесная кора и опилки. Их можно использовать путем компостирования с навозом, навозной жижей и другими азотсодержащими веществами. Такие компосты должны содержать не менее 80 % органического вещества (в расчете на сухую массу) при влажности не более 60 %, гуминовых веществ – 10–15 % от общего количества органического вещества, рН водной вытяжки – не менее 5,5, отношение С:N – не более 30, азота, фосфора и калия (% на сухую массу) – соответственно 3,0; 0,1 и 0,1.

Соотношение компостируемых материалов и навоза составляет, как правило, 1:1; 2:1 или 3:2, можно также добавлять фосфоритную

муку и хлорид калия, обогащающие компост и ускоряющие его созревание (длительность компостирования в штабелях обычно не менее 3 мес).

Компосты лучше вносить осенью под зяблевую вспашку или весной под перепахку зяби. Они эффективны *на всех почвах и под все сельскохозяйственные культуры*. Вносить компосты лучше под озимую рожь или при перепахке зяби под картофель и яровые зерновые культуры [2, 14].

Дозы внесения компостов из торфа и навоза (помета) зависят от культуры и колеблются от 20 до 60 т/га. Под яблони, груши, картофель, капусту вносят 40–50 кг компостов на 10 м², под косточковые, ягодные кустарники, многолетние овощи – 30–40 кг. Высокие дозы компоста хороши для малины и крыжовника [2, 14].

Лигнинонавозные компосты под пропашные, озимые зерновые культуры вносят в дозе 30 т/га, добавляя 3 кг минерального азота на 1 т компостов [2, 14].

Компосты из осадка сточных вод используют в пригородных хозяйствах (дозы – 10–15 т/га) вместе с минеральными удобрениями с разрешения санитарной и агрономической служб [2, 14].

Вермикомпост (биогумус)

Вермикомпост, или биогумус, – это продукт переработки навоза и различных органических отходов червями. Биогумус содержит *макро- и микроэлементы*, обладает биологической активностью, содержит *гормоны*, регулирующие рост растений (*ауксин, гиббереллин*), важные *ферменты* – *фосфатазы, каталазы* и т.д. При этом уменьшается число сальмонелл, вирусов [2, 14]. Черви питаются всеми органическими веществами, которые на 20–25% состоят из целлюлозы (солома, картон, бумага, опилки и др.). Вермикультура (биогумус) за рубежом рассматривается как важный элемент экологически чистого сельскохозяйственного производства и находит определенную государственную поддержку со стороны правительства в льготном финансировании и освобождении вермихозяйств от целого ряда налогов.

Метод вермикультивирования дает определенный эффект в решении проблем устранения животноводческих отходов – превращение в компост жидкого навоза, переработка на удобрение бытовых и неко-

торых промышленных отходов. На компост с помощью дождевых червей перерабатываются отходы промышленности, ликвидируются жи-ровые отходы .

Наиболее широко используется в вермикультуре навозный червь *Eusemia soetieda*. так называемый красный гибридный калифорнийский червь, выведенный в конце 40-х годов XX столетия в США. Он характеризуется большой скоростью роста, плодовитостью, продолжительностью жизни. Максимального размера достигает в 7-месячном возрасте. Его длина 6 – 10 см, темно-красного или красно-коричневого цвета [2, 14]. Формирование всех стадий развития червя составляет около 105 дней, в т.ч. кокон – белая личинка – до 21 дня, белая личинка – красная личинка до 40 дней, красная личинка взрослый червь до 15 дней.

Важной особенностью красного калифорнийского червя является способность жить в скученном виде и отсутствие инстинкта покидания места обитания в поисках полового партнера и более подходящих условий жизни. Половая активность червя снижается в холодные месяцы, достигает максимума в умеренный сезон и снова снижается в особо жаркие месяцы. В естественных условиях при выращивании на отходах этот червь дает в среднем потомство 200 – 400 особей в год.

Требования к условиям внешней среды: оптимальный температурный режим – 19 – 25°C; режим выживания – 4 – 40°C; частичная гибель популяции – 0 – 4°C; полная гибель популяции – ниже 0°C и выше 42°C; оптимальная влажность субстрата – 70 – 80%; почвенная кислотность – 6,8 – 7,2 рН, периодическая аэрация субстрата. На жизнедеятельность червя отрицательно сказывается наличие в субстрате пестицидов, хлора, аммиака, нерастворимых солей. Гибель червей чаще всего происходит из-за неприемлемости корма, неподходящих условий внешней среды, высокого содержания в корме протеина (более 45 %), образования в субстрате аммиака, сероводорода, застоя воды и понижения температуры ниже критической. Врагами дождевых червей являются крысы и мыши, кроты, птицы, муравьи и мокрицы. Наиболее опасны – кроты [2, 14].

Продолжительность жизни червя, при соблюдении всех технологических требований, колеблется в пределах 10–16 лет.

У червя отсутствуют зубы, поэтому он питается путем всасывания полужидкой пищи ротовым отверстием. Питаясь субстратом,

червь в течение суток двигается в нем по своеобразному эллипсу. Захватывая частички пищи, он выделяет переваренный субстрат в виде копролитов, перемещаясь в верхние ряды (слои). Ареал его обитания составляет 25 – 30 см.

В пищеварительном тракте червя органические остатки подвергаются глубоким изменениям: разлагаются до более простых соединений, обогащаются кальцием, магнием, нитратами, фосфорной кислотой; происходит процесс образования гуминовых кислот; многие минеральные соединения превращаются в доступную для растений форму. Под воздействием выделяемого в пищевом тракте кальция происходит нейтрализация содержащихся в субстрате кислот.

Прошедшие через кишечник червей органические остатки и земля выбрасываются наружу в виде экскрементов, получивших название вермикомпост (биогумус). За сутки взрослый червь пропускает через свой кишечник количество пищи, примерно равное весу его тела. Около 40 % этого количества пищи расходуется на его жизнедеятельность и 60 % выделяется в виде копролитов. Биогумус обладает большой водопропускной способностью и образует компоненты почвы, определяющие её структуру.

В практике организации вермиферных хозяйств выделяются следующие типы технологических площадей: с использованием стеллажей, открытых буртов, ящиков, контейнеров, с применением лож на открытых площадках и в помещениях. Наиболее простым в обслуживании и наименее капиталоемким является организация вермиферного хозяйства с применением лож (буртов) как на открытых площадках, так и в помещениях. Для помещений наиболее удобным являются неиспользуемые животноводческие фермы [2, 14].

При расположении лож на открытых площадках необходимо исключить возможный застой воды, который губителен для червя. Поэтому их необходимо располагать на небольших возвышениях с уклоном 1 – 3° и хорошим дренажем [2, 14]. На асфальтированных площадках необходимо делать уклон для стока излишней жидкости. Для стока ливневых вод необходимо прокапывать сточные канавки.

Лож (бурты) необходимо располагать по направлению преобладающих ветров. Черви боятся ветра и уходят с подветренной стороны. При таком расположении лож лучше сохраняется влажность бурта.

Для повышения продуктивности червя над ложами целесообразно (по возможности) устраивать временные навесы, каркасы, накрытые полиэтиленовой пленкой, ветками из лиственных пород деревьев, соломой. Навесы служат средством защиты от солнца, ветра, дождя и позволяют продлить период функционирования вермикULTуры до одного месяца.

С целью механизации трудоемких процессов, связанных с формированием буртов (лож), отделением червя для переселения его в другое место, снятием вермикомпоста, ложа лучше закладывать в виде буртов длиной 20 – 25 м, шириной 1 – 2 м и высотой 0,25 м попарно с расстоянием между ними 0,5 м. По краям буртов предусматриваются поворотные полосы для техники.

С понижением температуры окружающей среды ниже 8 °С необходимо переходить на производство биогуMуса в закрытых помещениях. Вермикозийство в них можно устраивать буртовым способом, с помощью стеллажей контейнерного типа. Буртовой способ в закрытых помещениях не отличается от устройства лож на открытом воздухе.

В условиях производства биогуMуса можно продлить, используя для этого животноводческие фермы, в которых содержится крупный рогатый скот на откорме. В зависимости от конструкции ферма делится на две половины (вдоль или поперек). В одной половине содержится скот, выполняющий при этом две функции – поддержание необходимого температурного режима и источник для субстрата. Вторая половина занимается под производство биогуMуса с использованием лож (буртов) по вышеописанной схеме.

В закрытых отапливаемых помещениях производством биогуMуса можно заниматься круглогодично с применением стеллажей и контейнеров. Полки стеллажей делаются деревянными. По их краям устраивают бортики высотой 30 см. Для удобства выемки биогуMуса бортики желательно делать откидными. Расстояние между полками по высоте должно быть не более 70 см [2, 14].

Контейнеры делаются в виде ящйков размером 1,0 м × 0,5 м × 0,25м² что удобно для работы двум рабочим. По краям контейнера приделывают ручки. В процессе производства контейнеры ставят один на один, но не более трех. Контейнерный способ, как и все остальные, основан на особенности червя жить в слое субстрата 25 – 30 см и подниматься в верхние слои по мере поедания корма [2, 14].

Красный калифорнийский червь перерабатывает практически все виды органических отходов: навоз КРС, птичий помет, свиной навоз, отходы плодоовощных баз, перерабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатов, отходы пивоварения, отходы мясокомбинатов, осадки очистных станций, бытовой мусор. Однако для производства биогумуса как эффективного и экологически чистого органического удобрения наиболее приемлемыми являются навоз и помет сельскохозяйственных животных. Для получения качественного субстрата предъявляется ряд требований. Любой субстрат должен пройти процесс ферментации, в результате которого происходит увеличение температуры субстрата, что в свою очередь приводит к гибели сорных растений, снижению патогенной микрофлоры.

В его компонентах не должно быть инородных загрязнений, таких как камни, металл, куски дерева, стекло. Количество целлюлозосодержащих веществ должно составлять не менее 20 %. При этом необходимо наличие минеральных добавок в виде гашеной извести, мела, сланцевой золы. Целлюлозосодержащими добавками могут быть мелконарезанная солома, торф (желательно верховой с низким pH), навоз КРС с отлежкой более 2 лет, сапропель [2, 14].

Подготовка субстрата включает [2, 14]:

1. Подбор и тщательное перемешивание компонентов.
2. Тщательный полив субстрата с насыщением влагой до 70 – 80% в течение 3–5 суток.
3. Формирование буртов. В летний период шириной 1,5 – 2,0 м и высотой 0,8 – 1,0 м, в зимней период шириной до 3,0 м и высотой 2 м.
4. Укрытие буртов соломой.
5. Ферментация субстрата. После формирования буртов и укрытия их соломой внутри происходит процесс подъема температуры до 50 – 70 °С, которая через некоторое время начинает падать.

Если контроль показывает падение температуры, то производят перебивку буртов с обильным поливом, накрывают соломой еще на 1 месяц. Средний срок созревания субстрата в летний период 3–4 месяца, в зимний – 4 – 5. Хранение может длиться 8–10 месяцев с добавлением мела или гашеной извести 3 – 4 кг на 1 м³ субстрата [2, 14].

Вермикомпосты готовят в кучах или емкостях. Для расчета размера гряд, условий кормления червей, количества продукции используется единица площади – ложе (2×1 м). Плотность заселения – 30–100

тыс. червей на одно ложе, количество сырья – 1–1,2 т в год. Кормом могут быть гниющие органические вещества: навоз, солома, трава, опавшая листва, ветви деревьев, отбросы, картон, бумага и др., которые необходимо подготовить, так как у червя нет зубов.

Отходы выдерживают в куче, чтобы прошла ферментация, сопровождающаяся сильным нагреванием. Для компостирования сырье укладывают слоями: внизу более крупное, сверху – помельче и увлажняют.

Спустя 1–1,5 мес, когда после сильного разогрева температура в куче снизится до 20 °С, в ней делают отверстия и запускают туда червей (примерно по 100 на отверстие). Через 3–4 мес отходы превращаются в компост. Для отделения червей предлагаются разные способы, в том числе сделать рядом со старой новую кучу, куда черви сами переползают в поисках пищи.

При достижении плотности 75 тыс. усл. сд. на 1 м² размножение червя замедляется, а при плотности 150 тыс. существует опасность голодания червя, самопоедание и гибель.

В различных странах мира разработаны ГОСТы к составу вермикомпоста (биогумуса). На экскременты червей в биогумусе должно приходиться не менее 70% сухого вещества. Готовый биогумус должен отвечать требованиям. Существенных различий в этих требованиях к составу биогумуса как в нашей стране, так и в других странах не наблюдается [2, 14].

Вермикомпост благодаря высокой концентрации элементов питания, агрономически полезных групп микроорганизмов и биологически активных веществ положительно влияет на рост и развитие растений и оздоравливает почвенную биоту. Средние дозы вермикомпоста составляют 3 – 5 т/га. [2, 14].

Урожайность зерновых в первый год применения биогумуса повышается на 6 – 10 ц/га, клубней картофеля – на 50 – 60 ц/га [2, 14].

Перспективно применение биогумуса в овощеводстве как открытого, так и защищенного грунта [2, 14].

Биогумус по многим показателям превосходит компосты, полученные традиционным путем. Он обладает лучшими физическими свойствами – более высокой водоудерживающей способностью, содержит больше доступных для растений форм питательных веществ (эле-

ментов), особенно азота, что связано с увеличением численности в копролитах червей азотфиксирующих бактерий. Особую ценность биогумусу придают гуминовые кислоты, содержание которых колеблется от 5,6 до 17,6 % на сухое вещество [2, 14].

Биогумус приобретает популярность у садоводов и огородников 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 благодаря высокой концентрации элементов питания, агрономически полезных групп микроорганизмов и биологически активных веществ оказывает положительное влияние на рост и развитие растений и оздоравливает почвенную биоту [2, 14].

Средние дозы вермикомпоста составляют 3 – 5 т/га. Каждая его тонна повышает урожайность зерновых на 5 – 6 ц/га, клубней картофеля на 50 – 60 ц/га. Последствие вермикомпоста слабо выражено. Особенно перспективно применение биогумуса в овощеводстве как открытого, так и защищенного грунта.

Сапропель

Сапропель (от греч. *sapros* – гнилой и *pelos* – грязь, ил) – донные отложения пресноводных водоемов различной окраски – от розовой до темно-коричневой [2, 14]. На воздухе естественная окраска исчезает. Представляет собой органоминеральные соединения и используется для производства сапропелевых удобрений.

Сапропель образуют остатки растений и животных, минеральные и органические примеси, приносимые в водоемы водой и ветром. Сохнет медленно, с трудом отдавая влагу, но высохнув, становится очень твердым и вновь не намокает. Содержит гуминовые кислоты, фульвокислоты, гемицеллюлозу, целлюлозу, битумы, золу (в среднем 20–60 %).

В зависимости от содержания кремнезема (SiO_2) и оксида кальция (CaO) сапропели подразделяют на органические (зольность менее 30 %), *кремнеземистые* (содержат более 50 % кремнезема), *известковистые* (содержат более 30 % оксида кальция) и *смешанного* состава. Известковистые сапропели в качестве известкового удобрения не хуже мела и доломитовой муки [2, 14].

Целесообразнее использовать сапропель на песчаных и супесчаных почвах. Заделывают сапропель спустя неделю после распределения по полю. Доза внесения сапропеля в два раза больше, чем навоза. По удобрительной ценности 1 т сапропелей равноценна 0,6–0,7 т торфо-навозных компостов. Применение сапропеля в качестве местного удобрения требует больших затрат на его добычу, транспортировку и внесение [2, 14].

Экономически оправдана перевозка сапропелей на расстояние до 20 км. Кремнеземистые сапропели не имеют удобрительной ценности [2, 14].

В качестве удобрений используют также **ил пресных вод** (землистая масса). Различные виды ила содержат от 6 до 30% перегноя, 0,25–2 – азота, 0,25–0,5 – фосфора и 0,2–0,8 % – калия. Дозы ила под озимые – 30 т на 1 га, овощные, картофель, корнеплоды – 70 т и более. В почву ил заделывают после проветривания. Его можно использовать также как компонент при приготовлении компостов [2, 14].

10.6. Зеленое удобрение

В условиях интенсивного земледелия наблюдается активная минерализация гумуса. А это приводит к ухудшению агрохимических, физико-химических, биологических и других свойств почвы, т.е. к снижению ее плодородия, поэтому комплексное использование всех видов органических удобрений для пополнения запасов гумуса в почве, создания не только бездефицитного, но и положительного его баланса – важная задача современного земледелия. В этой связи зеленым удобрениям должно быть уделено значительно большее внимание как мощному средству повышения плодородия почвы.

Применение зеленого удобрения способствует экологическому оздоровлению почвы, эффективной санитарной очистке полей от вредителей и возбудителей болезней, увеличивает количество полезных микроорганизмов и урожайность сельскохозяйственных культур.

Используя крестоцветные и бобовые культуры, можно значительно усилить профилактическое санитарное действие севооборота.

Зеленое удобрение – это свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее органическим веществом, азотом и другими элементами питания. Этот прием называют еще *сидерацией*, а

растения, выращиваемые на удобрение, – *сидератами*. Основные научные предпосылки применения зеленого удобрения состоят в следующем [2, 14].

Зеленое удобрение – важнейший источник гумуса и азота в почве. В зависимости от вида сидеральной культуры с 1 т зеленого удобрения в почву в среднем поступает 140 кг органического вещества, 3,5–5,0 кг азота, 1,1–1,3 кг фосфора и 2,8–3,8 кг калия, 1–3 кг кальция и 0,4–1,4 кг магния [2, 14].

При заправке зеленой массы сидератов в количестве 35–40 т/га в почву попадает 150–200 кг азота, что равноценно 30–40 т навоза [2, 14].

Коэффициент использования азота зеленого удобрения (в первый год действия) вдвое выше, чем такой же коэффициент навоза. Бобовые сидераты обогащают пахотный слой почвы усвояемым фосфором, калием и другими элементами. Так, на легких почвах в Вуберне (Великобритания) ежегодное запахивание сидератов в течение 7 лет увеличило содержание органического вещества на 10 %, на Ротамстедской опытной станции использование зеленого удобрения в течение 30 лет позволило накопить органического углерода в почве около 35 т/га.

В Баварии применение зеленого удобрения на суглинистой почве в течение 25 лет повысило содержание гумуса с 2,2 – 2,3 до 2,8 %, в то время как при внесении только минеральных удобрений содержание гумуса в почве снизилось до 1,9 %.

Зеленое удобрение улучшает агрохимические, физико-химические и физические свойства почвы. Они повышают величину pH, сумму поглощенных оснований, снижают величину гидролитической кислотности и подвижного алюминия. Обогащая почву органическим веществом, зеленое удобрение повышает связность песчаных и супесчаных почв, что улучшает их водно-физические и физические свойства [2, 14].

Растущие промежуточные сидераты, особенно многолетний люпин, вегетирующий осенью и весной между основными культурами севооборота, предотвращают потери питательных элементов из пахотного слоя почвы, защищают ее от процессов водной и ветровой эрозии, т.е. являются элементами почвозащитной системы земледелия.

На зеленое удобрение обычно возделывают бобовые культуры (люпин, донник, горох, сераделлу), которые накапливают большое количество – до 150–200 кг/га – азота, что равноценно 30–40 т/га навоза.

По содержанию азота 1 т зеленого удобрения равноценна 1 т навоза [2, 14].

В единице растительной массы бобовых сидератов находится примерно такое же количество (иногда и больше) азота, как и в единице навоза, но фосфора и калия меньше, поэтому последние восполняют, внося соответствующие удобрения.

Разложение зеленого удобрения в почве происходит значительно быстрее, чем других органических удобрений. После заделки в почву и минерализации зеленой массы сидератов азот, связанный в форме органических соединений, переходит в минеральную форму и используется последующими культурами.

Коэффициент использования ими азота зеленого удобрения в первый год почти вдвое выше, чем азота навоза. Кроме того, бобовые сидераты, обладая хорошо развитой и глубоко проникающей в почву корневой системой, извлекают питательные элементы из нижних горизонтов почвы, а также усваивают фосфор и другие питательные вещества из труднорастворимых соединений. Поэтому при разложении запаханной растительной массы пахотный слой почвы обогащается не только органическим веществом и усвояемыми соединениями азота, но также фосфором, калием и кальцием.

Сидераты могут возделываться как самостоятельная культура (занимает поле нескольких лет) и в смеси с другой (основной) культурой (уплотненные посевы). В уплотненных посевах сидераты (люпин, донник, сераделла и др.) могут возделываться одновременно с основной культурой (подсевная культура сидератов) или высеваться после уборки основной культуры (пожнивные посевы сидератов).

Различают три основные *формы зеленого удобрения: полное, укосное и отавное*. Полное – когда в почву запахивают всю зеленую массу и корни, отавное – когда запахивают стерневые остатки и корни растений, укосное – когда зеленую массу для заделки перевозят на другой участок [2, 14].

В условиях можно широко применять все три формы зеленого удобрения, используя в качестве сидеральной культуры преимущественно люпин. Большое значение имеет форма использования сидерата: запахивание всего растения вместе с корневой системой, либо только пожнивных и корневых остатков.

На отдаленные поля в большинстве хозяйств органические удобрения, как правило, не вносят, поэтому на этих полях зеленые удобрения и солома должны быть основным источником поступления органического вещества в почву.

При выборе вида промежуточной культуры следует учитывать ее биологические характеристики применительно к конкретным условиям.

Промежуточные культуры высевают после уборки основной культуры не позднее 5–10 августа. Полученная зеленая масса заделывается в почву поздней осенью перед наступлением заморозков. На участках, подверженных водной и ветровой эрозии, а также в засушливых местах целесообразно оставлять полученную растительную массу на корню для зимовки с заделкой ее ранней весной.

Озимый рапс, озимую сурепицу, озимую рожь (лучше всего при совместном посеве с озимой викой) высевают после уборки среднеспелых культур в августе-сентябре. При этом озимый рапс и озимую сурепицу высевают в начале августа, озимую рожь – до начала сентября включительно. Зелёную массу запахивают в почву весной следующего года. Под крестоцветные и злаковые сидеральные культуры рекомендуется вносить азотные удобрения в дозе 40 – 60 кг д. в. Отавная форма зелёного удобрения с учётом заправки пожнивных и корневых остатков эквивалентна – 4т/га навоза, полная форма зелёного удобрения при урожайности сидератов 150–250 ц/га – 15т/га, 250–350 ц/га – 20т/га навоза [2, 14].

Алкалоидный люпин (однолетний и многолетний) возделывают лишь на удобрение, безалкалоидный используют комбинированно: надземную часть на корм, а корни с пожнивными остатками как зеленое удобрение.

Однолетний алкалоидный люпин запахивают в фазе образования блестящих бобиков на главном стебле (к этому времени он накапливает максимальное количество азота). На паровых полях его запахивают за 2–3 недели до посева озимых.

Многолетний алкалоидный люпин наибольшее количество зеленой массы образует на третий-четвертый год жизни. При однолетнем использовании его подсевают под яровые зерновые и запахивают на второй год жизни на паровом поле в период массового цветения. На корм люпин скашивают в фазе бутонизации – цветения на высоте 8–10

см – так лучше отрастает отава. На силос его убирают в период от цветения до образования бобиков.

Сераделлу экономически выгодно возделывать как подсевную культуру (весной под озимые или яровые). После уборки зерновой культуры сераделла растет до глубокой осени и может быть использована на семена, на корм (укосная масса) и на зеленое удобрение (вся масса или только отава).

Надземную массу двулетнего *донника* скашивают до цветения, позже он грубеет. Отаву как зеленое удобрение запахивают осенью или весной. Люпин, донник и другие сидераты можно использовать на зеленое удобрение в виде самостоятельной культуры (выращивают как парозанимающую культуру, т. е. 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).

Глубина заделки сидератов влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и накопление гумуса в почве. Мелкая их заделка существенно повышает урожайность, но оказывает незначительное воздействие на накопление гумуса в почве, глубокая – наоборот. Глубокая заделка сидератов особенно важна для легких почв. При запахивании вместе с сидератами торфа, соломы разложение первых замедляется, добавление к зеленому удобрению навоза, жижи ускоряет его разложение [2, 14].

Под бобовые сидераты обычно вносят фосфорные и калийные удобрения, а семена обрабатывают Сапронитом или другими препаратами клубеньковых бактерий и молибденовыми удобрениями (25–50 г на гектарную норму семян).

По данным Полесской опытной станции, внесение навоза в дозе 54 т/га повышало урожайность озимой ржи на 7,3 ц/га, а заплата 30 т/га зеленой массы люпина – на 7,5 ц/га. Зеленое удобрение как весьма эффективное и дешевое местное средство играет важную роль в повышении 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 определенной мере ограничить использование торфа – невосполняемого фактора регуляции биоклиматических процессов на окружающих территориях. Однако расширение масштабов применения зеленого 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.

10.7. Солома

Эффективным способом использования соломы является ее непосредственное применение на удобрение без отчуждения из агроценоза [2, 14]. Для этих целей она широко используется в зарубежной и отечественной земледельческой практике, в хозяйствах, специализирующихся на производстве зерна и обеспечивающих хорошую кормовую базу для животноводства. Для этого в первую очередь должна быть использована солома рапса и других крестоцветных культур, солома гречихи, кукурузы, люпина, кормовых бобов, сои, которые в чистом виде практически не используются на корм и подстилку.

Использование соломы в качестве удобрения обосновывается рядом соображений агрономического и организационно-экономического характера: обеспечение почвы органическим веществом, сокращение производственных затрат и экономия труда благодаря отсутствию работ по уборке, перевозке, погрузке и разгрузке соломы, разбрасыванию подстилки и удалению навоза, его погрузке и разгрузке, буртованию и разбрасыванию по полю.

Научные предпосылки использования соломы на удобрение следующие.

Солома – источник питательных элементов. Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от биологических особенностей культур, почвенно-климатических условий. По химическому составу солома зерновых культур характеризуется довольно высоким количеством безазотистых веществ (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) и низким содержанием азота и минеральных элементов [2, 14].

В среднем она содержит 0,5 % азота, 0,25 – фосфора (P_2O_5), 0,8 – калия (K_2O) и 35–40% углерода в форме различных органических соединений. В соломе находятся некоторые количества серы, кальция, магния, различных микроэлементов (бор, медь, марганец, молибден, цинк, кобальт и др.) [2, 14].

При урожаях зерновых (20–30 ц/га) в почву с соломой будет возвращено 10–15 кг азота, 5–8 – фосфора (P_2O_5), 18–24 га – калия (K_2O), а также соответствующее количество микроэлементов [2, 14].

Солома – активный энергетический материал для образования гумуса. Широкое отношение C : N в соломе оказывает большое влияние на разложение ее в почве. Установлено, что для нормального протекания процессов разложения соломы отношение C:N должно быть 20–30 : 1 [2, 14].

Более узкое соотношение этих элементов приводит к минерализации азотистых соединений, а более широкое – усиливает процессы иммобилизации азота [2, 14]. Ценность соломы как органического удобрения обусловлена высоким содержанием в ней органического вещества. Из применяемых в настоящее время удобрений солома содержит наибольшее его количество.

По содержанию углерода солома в 3,5 – 4,0 раза превосходит подстилочный навоз, что является чрезвычайно важным в регулировании баланса органического вещества почвы. Из 1 т соломы может синтезироваться 140 кг гумуса, а из 1 т соломистого навоза – 40 кг. Для благоприятного протекания биохимических процессов в почве при внесении органических удобрений необходимо обеспечение оптимального углеродно-азотного соотношения (20–30:1).

Различные виды органических удобрений характеризуются разным соотношением углерода к азоту. При более широком отношении C/N происходит иммобилизация азота почвы, при более узком отношении усиливается минерализация гумуса и увеличиваются непроизводительные потери азота. При внесении органических удобрений целесообразно сочетать их таким образом, чтобы соотношение углерода к азоту приблизить к оптимальному.

Широкое отношение углерода к азоту (80–100:1) сдерживает биохимическое разложение соломы, поэтому его необходимо уменьшать. В связи с этим немецкие ученые Н.В. Hutchinson и Е.Н. Richaris

еще в 1921 г. сформулировали понятие «азотного фактора», означающее количество неорганического азота в граммах, которое органически связывается на каждые 100 г разлагаемого вещества [2, 14].

В зависимости от вида соломы этот показатель равен 0,5–1,0, т.е. для нормального разложения соломы на каждые 100 г ее необходимо вносить 0,5–1,0 г минерального азота, что приведет к уменьшению отношения C/N соломы до 20–30:1 [2, 14].

В зависимости от вида соломы содержание азота в ней может изменяться в 2–3 раза, в результате и отношение C/N существенно варьирует и, соответственно, на 1 т соломы требуется внесение различного количества дополнительного азота [2, 14].

В сочетании с соответствующим минеральным удобрением, жидким навозом или с используемыми в качестве сидератов бобовыми культурами солома по действию на содержание гумуса в почве часто не уступает эквивалентному количеству навоза.

Применение соломы для удобрения улучшает физико-химические свойства почвы, уменьшает потери азота, повышает доступность фосфатов и биологическую активность почвы, в результате чего улучшаются условия питания растений [2, 14].

Положительное действие соломы на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур возможно при наличии необходимых условий для ее разложения. Так, скорость микробного разложения соломы зависит от наличия в почве источников питания для микроорганизмов, их численности, видового состава и активности, типа почвы, ее окультуренности, температуры, влажности, аэрации и др. [2, 14].

Отмечено также, что интенсивность разложения клетчатки возрастает от дерново-подзолистых почв к серым лесным и черноземам. Оптимальная температура разложения клетчатки 28–30 °C и влажность почвы 60–70 % от полной ее влагоемкости. Интенсивность разложения соломы в верхнем слое почвы заметно выше, что объясняется хорошей аэрацией почвы, а также большой численностью и разнообразием видового состава микроорганизмов.

Внесение соломы в почву усиливает азотфиксирующую способность, ферментативную активность почвы.

Часто в первый год внесения соломы урожай злаковых культур снижается. Это объясняется наличием в соломе и образованием токсических соединений в процессе ее разложения, а также ухудшением

условий азотного питания растений при закреплении почвенного азота микроорганизмами в связи с широким *отношением* в соломе С : N.

Особое значение удобрение соломой имеет для бобовых культур, фиксирующих молекулярный азот атмосферы. Более высокий эффект от соломы получается при обработке семян бобовых перед посевом Сапронитом, поэтому на площадях, удобренных соломой, *желательно* размещать в первую очередь бобовые или пропашные культуры. Заблаговременно внесенная в почву солома стимулирует азотфиксирующую способность бобовых и существенно повышает их урожай. Питание азотом пропашных культур обеспечивается вследствие мобилизации азота почвы при ее междурядных обработках.

Азот минеральных удобрений снижает депрессирующее действие соломы на зерновые культуры. Имобилизованный в присутствии соломы азот минеральных удобрений характеризуется большей подвижностью, меньшей устойчивостью к кислотному гидролизу и минерализуется интенсивнее, чем азот, имобилизованный без соломы, особенно азот гумуса.

В последствии соломы усиливаются процессы мобилизации азота в почве, повышается использование растениями, как имобилизованного азота удобрений, так и азота почвы, что и определяет положительное ее действие на урожай последующих культур.

Способы использования соломы на удобрение [2, 14].

1. Измельченную и разбросанную по полю солому запахивают осенью при подъеме зяби или весной в районах достаточного увлажнения.

2. На почвах тяжелого гранулометрического состава и во влажных климатических условиях разбросанную по полю солому не запахивают, а заделывают поверхностно луцильником, дисковой бороной или фрезой. Такой способ заделки в этих случаях дает лучший эффект по сравнению с заделкой ее плугом. Там, где возможно, после поверхностной заделки соломы желательно посеять промежуточную пожнивную, лучше бобовую культуру.

3. Солому используют также в качестве мульчи для борьбы с водной и ветровой эрозией почвы. Мульчирование создает благоприятные условия для впитывания воды в почву, уменьшает, а иногда и полностью устраняет опасность поверхностного стока, способствует более равномерному распределению воды по поверхности почвы,

улучшает структуру пахотного горизонта, ослабляет испарение влаги. Измельчение соломы рекомендуется не более 3 – 7 см и она равномерно распределяется по ходу комбайна.

4. При оставлении стерни и соломы, в случае замены обычной обработки почвы безотвальной, на 40–60 % уменьшается скорость ветра над поверхностью почвы, вследствие этого угроза ветровой эрозии становится менее опасной, поэтому в зонах, подверженных ветровой эрозии, где обработку почвы проводят безотвально, заделывать солому в почву не рекомендуют.

5. На площадях, удобренных соломой, желательно в первую очередь размещать бобовые или пропашные культуры. При посеве на этих площадях небобовых культур полезно внести азотные удобрения из расчета 8–10 кг азота на 1 т соломы зерновых культур и 7 – 8 кг N – крестоцветных. Вносимый вместе с соломой азот в общей норме минеральных удобрений не учитывается, так как он включается в общий оборот азота почвы и может играть определенную роль лишь при систематическом применении соломы на удобрение в севообороте.

Норма дополнительного внесения азота с соломой может существенно различаться и зависит от климата, плодородия почвы, вида соломы, зеленого удобрения, вида высеваемой на этих площадях культуры. Во всяком случае установлено, что депрессивное действие соломы на первой культуре можно предотвратить, если внести такое количество минерального азота, которое обеспечит отношение C : N, равное 20 : 1.

6. Систематическое внесение высоких норм азотных удобрений в севообороте, особенно при возделывании пропашных культур, часто полностью удовлетворяет потребность в этом питательном элементе как растений, так и микроорганизмов. В этом случае внесение дополнительного азота при удобрении соломой может не дать положительного эффекта. В то же время на почвах, недостаточно окультуренных, при удобрении соломой и посеве промежуточной пожнивной небобовой культуры норма азота может быть повышена до 15–20 кг на 1 т соломы.

7. Хороший эффект наблюдается при комбинации удобрения соломой и зеленого удобрения. При этом могут быть использованы различные виды зеленого удобрения: самостоятельные посевы, пожнив-

ные или подсевные культуры. Лучшее действие отмечается при использовании на зеленое удобрение бобовых культур, так как солома оказывает положительное действие на рост бобовых и фиксацию ими азота из атмосферы. Даже при подсеве под злаковую культуру клевера и осенней запашке его с соломой отпадает необходимость во внесении минерального азота, так как его достаточно накапливается клевером. Если в качестве пожнивного зеленого удобрения используется небобовая культура, то возникает необходимость во внесении минеральных азотных удобрений. Во всех случаях хороший положительный эффект от комбинации соломы на удобрение и сидерации получается при высоком урожае культур, высеваемых на зеленое удобрение.

Минеральные азотные удобрения можно заменить бесподстилочным жидким навозом из расчета не менее 6–8 т на 1 т соломы. Удобрения заделывают в почву, выполняя лущение стерни на глубину 8–10 см. Через три недели зябь вспахивают. На глинистых и суглинистых почвах навоз вносят осенью или весной, на супесчаных и песчаных – только весной [2, 14].

При таком сочетании это удобрение будет действовать не хуже обычного подстилочного навоза.

Применение соломы на удобрение с добавлением небольшого количества минерального азота либо в сочетании с бесподстилочным навозом или с зеленым удобрением испытано в России, и других странах и различных почвенно-климатических условиях и дало хороший положительный эффект. Например, на типичных дерново-подзолистых, сильнооподзоленных почвах, на легких суглинках и супесчаных раздельное внесение в почву 3 т/га измельченной соломы и 27 т/га жидкого навоза оказало практически такое же влияние на урожай культур звена севооборота (картофель, ячмень, многолетние травы), как и 30 т/га подстилочного навоза [19].

Во время уборки озимых культур солому измельчают, равномерно распределяют по поверхности поля и заделывают на глубину 8–10 см. Лучше после заделки соломы сеять зернобобовые культуры, так как под другие, особенно зерновые, необходимо вносить по 10–12 кг азота на тонну запаханной соломы [2, 14].

10.8. Технология и требования к качеству внесения органических удобрений

Технологии внесения органических удобрений. Твердые органические удобрения (традиционный подстилочный навоз и различные компосты) вносят преимущественно по двум технологическим схемам: I – **прямоточной** (ферма – поле) и II – **перевалочной** (ферма – бурт, штабель – поле).

При прямоточной технологии удобрения из мест накопления (прифермских полевых секционных навозохранилищ или площадок компостирования обычно вблизи животноводческих комплексов) транспортируют и вносят тракторными прицепами-разбрасывателями без буртования в поле с немедленной заделкой в почву.

Такую схему используют только при небольшом расстоянии перевозки (до 8 км от места накопления до поля) и ограниченно по времени, главным образом в весенне-осенние посевные кампании, в периоды, когда сразу за внесением твердых органических удобрений может осуществляться их заделка.

Перевалочная технология при значительном расстоянии от места накопления имеет такие же временные ограничения. В этом случае удобрения транспортируют тракторными прицепами или автомобилями-самосвалами до поля и затем перегружают в низкорамные разбрасыватели, которыми и вносят на поверхность почвы, либо сгружают на поле отдельными кучами в шахматном порядке с расстоянием в рядах 30–60 м (в зависимости от емкости транспортного средства и дозы внесения), из которых и разбрасывают роторными разбрасывателями. Равномерно распределенные по поверхности поля удобрения сразу же заделывают в почву.

Аналогична и перевалочная технология по наиболее распространенной на практике схеме ферма – бурт (штабель) – поле, которая позволяет выполнять значительную часть транспортных работ (перевозку удобрения от места накопления до места временного хранения в буртах или штабелях обычно вблизи или на краю поля) круглый год или периодически в менее напряженный период сельскохозяйственных работ. При этом отпадает необходимость в крупных прифермских навозохранилищах, их емкость может быть ограничена объемом 1,5-месячного карантинного хранения навоза от имеющегося поголовья животных.

Агротехнические требования и контроль за качеством внесения органических удобрений. Качество навоза и компонентов компостов контролируется по следующим основным показателям: влажность, зольность, содержание органического вещества, реакция среды (рН солевой вытяжки), валовое содержание азота, фосфора и калия.

Агроэкологические требования к качеству нетрадиционных твердых органических удобрений (биогумус вермикультуры, сапропель, компосты из твердых и жидких бытовых отходов, ОСВ и др.) включают контроль за содержанием в них тяжелых металлов, радионуклидов, других токсикантов, наличием болезнетворных микроорганизмов и гельминтов.

Экспертизу качества твердых органических удобрений проводят сервисные подразделения агрохимической службы в течение 10 сут после доставки на анализ представительных проб, отбираемых не ранее чем за 2 мес до внесения удобрения в почву, а с площадок компостирования – перед вывозкой созревшего компоста на поля. В ходе хранения навоза и приготовления компостов следует контролировать соблюдение правил формирования и перемешивания буртов и штабелей, отслеживать протекание биотермических процессов.

При внесении твердых органических удобрений должны соблюдаться следующие основные агротехнические требования: постоянная скорость движения агрегата по полю составляет 7–12 км/ч; отклонение фактической дозы внесения от заданной не должно превышать $\pm 10\%$; неравномерность распределения удобрения по рабочей ширине захвата $\pm 25\%$; нестабильность дозы внесения по ходу движения агрегата $\pm 10\%$; на поле не должно быть огрехов и неудобренных участков. Недопустимо растаскивание органических удобрений по поверхности поля машинами и орудиями, не приспособленными для равномерного их распределения.

При работе разбрасывателей удобрений необходимо контролировать по спидометру скорость движения агрегата и рабочую ширину захвата. Фактическую ширину захвата определяют не менее чем в пяти местах по длине гона, а также при входе и выходе агрегата в рабочий режим.

Наличие огрехов на поле, перекрытия на стыковых проходах, качество внесения на поворотных полосах, потери удобрений в местах

погрузки, в пути следования транспортных и технологических машин определяют визуально.

Необходимо до начала работ заблаговременно качественно подготовить и правильно настроить разбрасыватели для обеспечения заданной дозы внесения удобрений и соблюдения других установленных агротехнических требований.

Равномерно распределенные по поверхности почвы органические удобрения сразу (не более чем через 2 ч) должны быть заделаны в почву на требуемую глубину почвообрабатывающими орудиями общего назначения – плугами, лузильниками, дисковыми боронами и др. – при соблюдении предъявляемых агротехнических требований к соответствующей обработке почвы.

Твердые органические удобрения наиболее эффективны почти на всех типах почв (за исключением легких и маломощных, переувлажненных и подверженных ветровой эрозии) при комбинированно-ярусной системе обработки с заделкой на всю глубину пахотного слоя с полным оборотом пласта специальными плугами.

Жидкие органические удобрения вносят по прямоточной, комбинированной перегрузочной и перевалочной технологии.

Прямоточная технология. По этой технологии жидкий навоз (без предварительного разделения на фракции), жидкую фракцию из отстойника-накопителя и навозные стоки с влажностью не более 93 % транспортируют и вносят поверхностно полуприцепными цистернами-разбрасывателями, оборудованными для самозагрузки и поверхностного внесения.

Сдерживающим фактором использования такой технологии является резко возрастающая стоимость единицы объема работы с увеличением дальности транспортировки. Даже при использовании крупнотоннажных мобильных жиже-разбрасывателей транспортировка свыше 5–8 км экономически невыгодна.

Для внесения жидких органических удобрений используют МЖТ-6, МЖТ-11, РЖТ-4М, РЖТ-5 и их аналоги.

Более распространены различные комбинированные технологические схемы применения жидких органических удобрений.

Комбинированная перегрузочная технология. Включает загрузку удобрения из прифермского навозохранилища в транспортную

емкость и доставку его до поля, перегрузку удобрения в полевой тракторный жиже-разбрасыватель и внесение жидкого навоза в поле.

Перевалочная технология. Предусматривает транспортировку удобрения из прифермского навозохранилища в полевое хранилище мобильным транспортом или по трубопроводу (стационарному или из разборных труб) с помощью фекальных насосов. При использовании трубопровода влажность навоза должна быть не менее 91 %, а скорость движения навоза в трубопроводе – не менее 1,2 м/с. Не разрешено оставлять навоз в трубопроводе дольше одной рабочей смены, после окончания работы трубопровод необходимо промыть водой (в количестве не менее полуторного объема заполняемой системы) при скорости потока 1,1–1,5 м/с. Загрузку удобрений из полевого хранилища и внесение их в поле осуществляют тракторным жиже-разбрасывателем.

Возможна также транспортировка жидкого навоза из прифермского хранилища на площадку для приготовления компоста с последующим использованием технологий применения твердых органических удобрений.

При раздельном использовании жидкой и твердой фракций навоз из карантинной емкости подается насосами в отстойник-накопитель, в котором происходит разделение навоза на фракции естественным или механическим способом. Жидкая фракция через фильтрующие устройства поступает по жиже-сборочному каналу в пруд-накопитель. При этом массовая доля механических и растительных включений (размером 3–10 мм) в осветленной жидкой фракции не должна превышать 2 % [33].

Жидкая фракция может использоваться в рециркулярной системе навозоудаления из животноводческих помещений или после шестимесячного отстаивания для орошения.

Требования к качеству поверхностного внесения жидкого навоза. При поверхностном внесении жидких органических удобрений цистернами-разбрасывателями должны соблюдаться следующие основные агротехнические требования: не допускается перелив при загрузке цистерны, коэффициент заполнения емкости должен составлять 0,95–0,96; перед внесением жидкий навоз должен 2–5 мин перемешиваться в технологической емкости; нестабильность дозы по длине рабочего хода агрегата не должна превышать – 10 %; неравномерность

распределения удобрения по ходу движения и ширине рабочего захвата должна быть не более $\pm 25\%$; перекрытие смежных проходов допускается от 2 до 4 м, а по длине стыковых проходов – от 2 до 7 м; огрехи на стыковых проходах не допускаются; поворотные полосы обрабатывают после внесения навоза на загонах; удобрение должно быть заделано в почву не позднее чем через 2 ч после внесения; глубина его заделки должна быть не менее 8 см; повторное переворачивание пласта после заделки удобрения в почву не допускается; зимнее внесение жидкого навоза допустимо только на заранее подготовленные поля при температуре воздуха не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и высоте снежного покрова до 20 см [51].

Внесение жидкого навоза поверхностно-самотечным способом полива. С помощью стационарных или переносных трубопроводов с раздаточными колонками его можно осуществлять на специально подготовленных выровненных полях с небольшим уклоном.

Длину предварительно нарезанных поливных борозд устанавливают в зависимости от уклона участка и водопроницаемости почвы, но она не должна превышать 200 м, при этом сброс поливной жидкости в конце борозды не допускается, а расход жидкого навоза при поливе не должен превышать 2 л/с [10].

Для распределения навозных стоков и жидкой фракции навоза по поверхности почвы можно также использовать различные дождевальные установки – стационарные, полустационарные и передвижные (фронтального и кругового действия, в том числе дальноструйные).

В этом случае требуются предварительная специальная подготовка поля для улучшения впитывающей способности почвы, строгое соблюдение специальных требований, нормативов и ограничений, установленных для оросительных систем с использованием животноводческих стоков. Особое внимание при внесении жидких органических удобрений дождеванием следует уделять измельчению или отделению попадающих в них частиц с размерами, превышающими свободный проход через отверстия в насадках дождевальных аппаратов [21].

В целом независимо от способов и технологий применения жидких органических удобрений они желательно сразу, но не позднее чем через 2 ч после поверхностного внесения на поле, должны быть заде-

ланы в почву на глубину не менее 8 см во избежание потерь азота удобрения за счет улетучивания аммиака. Этих потерь можно также избежать при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений [44].

Требования к качеству внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений. Для внутрипочвенного внесения используют жидкий навоз влажностью от 92 до 97 %, навозную жижу, разбавленную водой до влажности свыше 92 %, не содержащие включений размером более 10 мм.

Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений осуществляют специальными агрегатами одновременно с заделкой в почву при основной обработке (вспашке или безотвальной обработке, под пласт или в борозду) так, чтобы обеспечить равномерную заделку удобрения на глубину обработки почвы (16–20 см). Под пропашные культуры жидкие органические удобрения вносят по центру междурядий или через ряд в постоянной дозе [33].

Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений используют не только в качестве основного приема, но и в подкормку кормовых пропашных культур (кормовые корнеплоды и капуста, кукуруза, картофель).

В подкормку многолетних трав (второго и последующих годов пользования) травостоев на сенокосах и пастбищах жидкие органические удобрения вносят осенью или после укоса (стравливания) не менее чем за 14 дней до использования трав последующего отрастания.

При внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений необходимо соблюдать следующие основные агротехнические требования: используемые агрегаты должны быть герметичны, не иметь подтеков удобрений, загрязняющих поверхность обрабатываемых участков; отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать ± 10 %, а неравномерность подачи жидких удобрений по насадкам ± 25 %; отклонение фактической глубины заделки удобрений от заданной должно быть не менее ± 3 см, глубина внесения на пашне должна быть не менее 8 см, а на лугах и пастбищах – не выше узла кущения трав; при подкормке сенокосов и пастбищ площадь с поврежденной дерниной должна составлять не более 3 % от удобренной; не

допускается использование жидких органических удобрений на территории первого и второго поясов санитарной зоны охраны источников водоснабжения и минеральных источников [29].

Контроль качества внесения жидких органических удобрений. Фактическую дозу внесения жидких органических удобрений определяют, учитывая массу (объем) использованных удобрений на площади поля (загона, участка) [11].

Неравномерность внесения удобрений оценивают по значению коэффициента вариации по насадкам распределительных устройств при заполненной цистерне разбрасывателей или агрегатов для внутрипочвенного внесения удобрений.

Качество внесения (равномерность распределения по полю при поверхностном внесении, наличие огрехов, перекрытия и др.) и заделки в почву (по наличию удобрения на поверхности почвы) определяют визуально.

Глубину заделки удобрения устанавливают по глубине обработки почвы, измеряя ее металлической линейкой.

Степень повреждения дернины при внутрипочвенном внесении органических удобрений определяют, измеряя поврежденную площадь на обработанном поле известного размера. Степень повреждения растений при междурядной подкормке пропашных культур оценивают по доле поврежденных растений, отбираемых по диагонали участка с площадью, удобренной при одном проходе агрегата (с известной шириной рабочего захвата) на 10-метровое расстояние (т. е. на удобренном участке с площадью, равной произведению ширины рабочего захвата агрегата на 10-метровом промежутке гона) [27].

Согласно санитарно-ветеринарным требованиям прошедшие карантинное хранение жидкий навоз крупного рогатого скота и свиней, навозные стоки, осадок из отстойников и избыточный активный ил можно применять под кормовые культуры, только если получаемую продукцию скармливают сельскохозяйственным животным не в свежем виде, а в переработанном – в виде силоса, сенажа и травяной муки.

Агротехнические требования к качеству работ по применению жидкого навоза с учетом экологической безопасности и ветеринарной санитарии установлены отраслевым стандартом ОСТ 10 133–96 «Удобрения органические. Требования к качеству работ по применению жидкого навоза. Типовой технологический процесс».

10.9. Бактериальные удобрения

Бактериальные удобрения – это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур [2, 14].

Наиболее широкое распространение получили препараты, содержащие азотфиксирующие микроорганизмы. Биологический азот в почве накапливается в результате симбиотической, несимбиотической, ассоциативной азотфиксации [2, 14].

Симбиотическую азотфиксацию осуществляют клубеньковые бактерии, локализованные в клубеньках на корнях бобовых культур. В симбиозе с клубеньковыми бактериями бобовые способны удовлетворять до 60–90 % своей потребности в азоте за счет биологической азотфиксации. Однолетние зернобобовые культуры (люпин, горох и др.) за сезон связывают на гектаре от 50 до 100 кг азота, примерно половина остается в почве, многолетние бобовые травы (клевер, люцерна) – 180–300 кг и больше, из которого с корнями и пожнивными остатками 70–100 кг остается в почве [2, 14].

Интерес к проблеме микробиологической фиксации атмосферного азота обусловлен не только главной ролью этого процесса в азотном балансе биосферы земли, но и его перспективностью как источника связанного азота для обеспечения быстрорастущих нужд сельского хозяйства и промышленности.

Важным аргументом при этом выступает его полная безвредность для человека и окружающей среды и относительно небольшие затраты энергии на активизацию микроорганизмов, осуществляющих азотфиксацию. Наряду с симбиотической азотфиксацией в последние 20 лет достигнуты существенные успехи в изучении ассоциативной азотфиксации, которая превратилась в самостоятельный раздел учения о «биологическом азоте».

Многочисленные полевые исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что если сельскохозяйственные культуры 10–20 % своей потребности в азоте покроют за счет фиксации из атмосферы, то прием инокуляции может внести значительный вклад в азотный баланс.

Препаративные формы микробных удобрений: жидкие, гранулированные, гелеобразные, сыпучие почвы [32].

Страны производители бактериальных удобрений и объемы производства (га/порций ежегодно): США – 20 млн., Канада – 2,5, Австрия – 6 9, Бразилия – 4 – 6, Индия – 2 – 4, Аргентина – 2 – 3, Уругвай – 1 – 2, Россия – 0,3 млн.

Контрольные вопросы

1. Высокая величина рН.
2. Каким способом можно определить выход подстилочного навоза?
3. Какое определение соответствует понятию «подстилочный навоз»?
4. Какое удобрение не является бактериальным?
5. Какое удобрение способствует накоплению азота в почве?
6. Какой вид подстилочного навоза целесообразно вносить под с.-х. культуры?
7. На какой агрохимический показатель почвы оказывает влияние применение подстилочного навоза в первую очередь?
8. Назовите культуры, используемые на зеленое удобрение:
9. Назовите формы зеленого удобрения.
10. При использовании соломы в качестве удобрения необходимо дополнительно.
11. При каком способе хранения наблюдаются минимальные потери подстилочного навоза?
12. С какой целью проводится компостирование торфа с навозом?
13. Укажите вещества, используемые в качестве подстилки животных.
14. Укажите все способы хранения подстилочного навоза.
15. Укажите значение подстилки.
16. Укажите достоинство навоза.
17. Укажите какое мероприятие способствует снижению потребности в органических удобрениях.
18. Укажите культуры, под которые эффективно внесение органических удобрений.
19. Укажите место хранения подстилочного навоза.
20. Укажите оптимальное соотношение составных компонентов при изготовлении торфонавозных компостов (торф:бесподстилочный навоз).
21. Укажите оптимальную технологию внесения соломы.
22. Укажите оптимальные дозы подстилочного навоза под пропашные культуры, т/га.
23. Укажите оптимальный срок внесения жидкого навоза в основной прием на легких почвах.
24. Укажите оптимальный срок внесения подстилочного навоза.
25. Укажите полное и правильное определение «органические удобрения».

26. Укажите примерный выход экскрементов (т) от одной условной головы в год за стойловый период (220 дней).
27. Укажите способ внесения подстилочного навоза.
28. Укажите способ использования полужидкого навоза.
29. Укажите среднее содержание элементов питания (кг) в 1 т подстилочного навоза.
30. Укажите сущность послойного способа приготовления торфяных компостов.
31. Укажите эффективный способ использования низинного торфа в настоящее время.
32. Укажите, что представляет собой свежий навоз.
33. Что входит в состав бесподстилочного навоза?
34. Что такое сапропель?
35. Что является пищей для земляных червей в процессе получения биогумуса?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение удобрений при производстве сельскохозяйственной продукции – необходимое условие устойчивости сельскохозяйственного производства. Принятый в 90-е годы курс на альтернативные системы земледелия, предусматривающие отказ от применения минеральных удобрений, показал свою полную несостоятельность. Урожайность культур при таких системах была на порядок ниже, при этом затраты на производство продукции многократно возросли. Недавно в настоящее время в развитых странах доля таких хозяйств относительно невелика.

Применение удобрений базируется на одном из важнейших законов земледелия – законе возврата, который гласит: вещество и энергия, отчужденные из почвы с урожаем, должны быть компенсированы (возвращены в почву) с определенной степенью превышения. Этот закон был открыт основателем теории минерального питания растений Юстасом Либихом. К. А. Тимирязев и Д. Н. Прянишников считали этот закон одним из величайших достижений науки.

При систематическом отчуждении урожая с полей без компенсации использованных элементов питания и энергии почва разрушается, теряет плодородие. В связи с этим возникает необходимость возврата питательных веществ.

При компенсации выноса веществ по закону возврата можно создавать условия для улучшения почвы, ее расширенного воспроизводства, когда возврат веществ превышает вынос. Это служит теоретическим обоснованием возврата в почву элементов питания за счет минеральных удобрений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрохимия (Изд. 3). Под ред. Смирнова П. М. и Петербургского А. В. М., «Колос», 1975, 512 с.
2. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии : учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки : БГСХА, 2019. – 405 с.
3. Агрохимия: учебник / ред.: И. Р. Вильдфлуш, С. П. Кукреш, В. А. Ионас. – Минск: Ураджай, 1995. – 480 с.
4. Адрианов С. Н. Формирование фосфатного режима дер-ново-подзолистых почв в разных системах удобрения. М.: ВНИИА, 2004. 294 с.
5. Актуальные проблемы агрохимии. М.: ВНИИА, 2005. 350 с.
6. Анспок П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р. Справочник агро-химика Нечерноземной полосы. Л.: Колос, 1981. – 327 с.
7. Артюшин А. М., Минеральные удобрения и дозы их внесения. М., «Колос», 1967, 255 с.
8. Банкин, М. П. Физико-химические методы в агрохимии и биологии почв: учеб. пособие / М. П. Банкин, Т. А. Банкаина, Л. П. Коробейникова. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2005. – 176 с.
9. Баранов Н. Н., Михайлов Н. И. Справочник по экономике химизации сельского хозяйства. М., «Колос», 1967, 215 с.
10. Барбер С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
11. Беляев Г. Н. Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. Пермь: 2005, 314 с.
12. Брысозовский, И. И. Справочник агронома по химизации сельского хозяйства / И. И. Брысозовский, Л. М. Григорович, В. И. Панасин. – 2-е изд., доп., по материалам науч.-исслед. работы в Калинингр. обл. – Калининград: [б. и.], 2008 (ИП Мишуткина И. В.). – 351 с.
13. Вильдфлуш И. Р., Цыганов А. Р., Лапа В. В., Персикова Т. Ф. Рациональное применение удобрений: Пособие. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – 324 с.
14. Войтович Н. В. Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование. М.: Колос, 1997. 388 с.
15. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение с основами геологии: учебник / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов; М-во сел. хоз-ва РФ, РГАУ. – МСХА им. К. А. Тимирязева. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 352 с.
16. ГОСТ 20432-83 Удобрения. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1983. – 15 с.
17. ГОСТ 24290-80 Удобрения минеральные. Виды. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1980. – 6 с.

19. Гулянии И. В. Система применения удобрений. М., «Ко-лос», 1970, 208 с.
20. Докучаев, Н. С. Земледелие Калининградской области: учеб. Пособие для студ. вузов по напр. 560200 – Агрономия / Н. С. Докучаев, О. В. Диваков, Л.С. Еремеева; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2001. – 288 с.
21. Докучаев, Н. С. Система земледелия: учеб. пособие / Н. С. Докучаев; ФГОУ ВПО «КГТУ». – 2-е изд. - Калининград: КГТУ, 2007. – 316 с.
22. Егоров, В. В. Экологическая химия: учеб. пособие / В. В. Егоров. – Санкт-Петербург [и др.]: ЛАНЬ, 2009. – 181 с.
23. Ермохин Ю. И., Бобренко И. А. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД»). Омск: Изд. ОмГАУ, 2005. 284 с.
24. Ефимов, В. Н. Система удобрения: учебник / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, В. П. Царенко. – Москва: КолосС, 2002. – 320 с.
25. Кидин В. В. Основы питания растений и применения удобрений. М.: РГАУ-МСХА, 2008. 416 с.
26. Кидин В. В. Система удобрения. М.: РГАУ-МСХА, 2012. 478 с. 9. Минеев В. Г. Агрохимия. М.: КолосС, 2004. 720 с.
27. Кидин, В. В. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / В. В. Кидин, И.П. Дерюгин, В. И. Кобзаренко; ред. В. В. Кидин. – Москва: КолосС, 2008. – 599 с.
28. Кирюшин, В. И. Агротехнологии [Электронный ресурс]: учебник / В. И. Кирюшин, С. В. Кирюшин. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 464 с. (ЭБС Издательство «Лань»)
29. Классификация и качественный анализ удобрений: методическое пособие к лабораторным занятиям и самостоятельной работе по агрохимии для студентов 3 курса специальностей 110101 «Агрохимия и агропочвоведение», 110201 «Агрономия», 110202 «Плодоовощеводство и виноградарство», 110203 «Защита растений», 110102 «Агроэкология». Составитель: к. с.-х. наук Л.В. Дербенева, 2-е изд., перераб. и доп./ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». Пермь, 2007. – 40 с.
30. Матюк, Н. С. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии [Электронный ресурс]: учебник / Н. С. Матюк, А. И. Беленков, М. А. Мазиров. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 224 с. (ЭБС издательство «Лань»).
31. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев; ред.: А. П. Щербаков, В. В. Кидин; МГУ им. М. В. Ломоносова. – 2-е изд., перераб. И доп. – Москва: МГУ: КолосС, 2004. – 720 с.
32. 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.
33. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
34. Общее почвоведение: учеб. пособие / В. Г. Мамонтов [и др.]. – Москва: КолосС, 2006. – 456 с.
35. Основы общего земледелия: учеб. пособие / Ю. П. Паракшин [и др.]; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2003. – 202 с.
36. Паракшина, Э. М. Эрозия почв: учеб. пособие / Э. М. Паракшина, А. И. Юсов. – Калининград: КГТУ, 2005. – 92 с. 21
37. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. М.: Лесдум, 2000. 184 с.
38. Прянишков, Д. Н. Избранные сочинения в трех томах / Д. Н. Прянишков. – Москва: Колос, 1965. – Т.1: Агрохимия. – 767 с.
39. Прянишков, Д. Н. Избранные сочинения в трех томах / Д. Н. Прянишков. – Москва: Колос, 1965. – Т. 2: Частное земледелие. – 708 с.
40. Прянишков, Д.Н. Избранные сочинения в трех томах / Д.Н. Прянишков. – Москва: Колос, 1965 – Т. 3: Общие вопросы земледелия. – 630 с.
41. Прянишников Д. Н . Агрохимия. Избранные сочинения, т. 1. М., «Колос», 1905, 767 с.
42. Радой А. С. и др. Практикум по агрохимии. М., «Колос», 1971, 375 с.
43. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на Чернобыльской АЭС на период 1991–1995 гг. М.: Главагробיוпром, 1991. 57 с.
44. Справочник агрохимика. М., Россельхозиздат, 1976, 350 с.
45. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия: учебное пособие / В. И. Панасин, М. И. Вихман, В. В. Долина [и др.]. – Калининград: Изд-во БФУ им.И. Канта, 2018. – 315 с.
46. Фокин А. Д., Лурье А. А., Торшин С. П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.
47. Химизация земледелия Калининградской области за 40 лет (1966–2005 гг.): справ.: учеб. пособие / В. И. Панасин [и др.]; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2007. – 139 с.
48. хозяйства: учеб. пособие / И. И. Брысозовский, Л. М. Григорович, В. И. Панасин; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2006. – 280 с.
49. Экономика использования удобрений. Под ред. Баранова П. Н. М., «Колос») 312 с.
50. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. М., «Колос», 1971, 272 с.

51. Юсов, А. И. Агрохимическая оценка почв: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 110101.65 – Агрохимия и агропочвоведение; 110201.65 – Агрохимия / А. И. Юсов; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: КГТУ, 2011. – 284 с.
52. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрохимия. М.: Мир, 2003. 584 с.
53. Ягодин Б.А. Практикум по агрохимии. М: ВО Агропром-издат, 1987. – С. 345-351.
54. Ягодин Б.А., Торшин С.П., Удельникова Т.М. Значение микроэлементов в системе рационального природопользования // Биологические науки. 1990, № 9. – С. 7-18
55. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 584 с.

ГЛОССАРИЙ

Агрохимическая характеристика почвы - совокупность химических и физико-химических показателей, характеризующих эффективное плодородие почв (уровень обеспеченности сельскохозяйственных растений элементами минерального питания и условиями роста).

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 нитратный - азот, находящийся в форме нитрат-иона

Азот нитритный - азот, находящийся в форме нитрит-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.

Баланс питательного элемента в почве - соотношение статей прихода и расхода питательного элемента в почве.

Биологическая активность почвы - интенсивность микробиологических процессов, протекающих в почве.

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 другие свойства.

Вымывание питательных элементов 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.

Гумификация - сложный биохимический процесс разложения органических остатков и одновременного синтеза высокомолекулярных гумусовых веществ (гуминовых кислот, фульвокислот и негидролизуемых остатков).

Гумус - часть органического вещества почвы, образующаяся при гумификации органических остатков.

Деградация почвы - ухудшение свойств и снижение плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

Емкость катионного обмена почвы - количество катионов, адсорбированных почвенным поглощающим комплексом почвы в обменном состоянии.

Емкость поглощения катионов почвой - максимальное количество обменных катионов, которые могут быть поглощены почвой из солевого раствора.

Загрязнение почвы - содержание в почвах химических элементов, соединений и патогенных организмов в количествах, оказывающих вредное воздействие на состояние растений, здоровье животных и человека.

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 деградациии 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 воздействии на почву растворами нейтральных солей.

Катионы почвы обменные - катионы, поглощенные высокодисперсной частью почвы, способные к обмену.

Кислотность почвы - свойство почвы, обусловленное преобладанием в почвенном растворе ионов водорода над гидроксидами, обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.

Кислотность почвы актуальная - кислотность почвенного раствора.

Кислотность почвы гидролитическая - кислотность почвы, проявляющаяся при обработке ее раствором гидролитически щелочной соли.

Кислотность почвы обменная - кислотность почвы, проявляющаяся при обработке ее раствором нейтральной соли.

Кислотность почвы потенциальная - кислотность почвы, обусловленная наличием ионов водорода и алюминия в поглощенном состоянии.

Макроэлементы - химические элементы, содержащиеся в растениях в количествах от целых до сотых долей процента в расчете на сухое вещество.

Мелиорация почвы химическая - комплекс мероприятий, направленных на улучшение агрохимических, агрофизических и биологических свойств почвы посредством химических мелиорантов - извести или гипса.

Миграция элементов питания в почве - процесс перераспределения водорастворимых веществ в профиле почвы. Вертикальная нисходящая миграция веществ в почве, реализуемая путем многократных актов сорбции-десорбции.

Минерализация азота - разложение азотсодержащих органических соединений под влиянием микроорганизмов до аммиака и сопутствующих минеральных и органических соединений.

Минерализация органических веществ в почве - микробиологические процессы разложения органических веществ в почве с образованием минеральных соединений.

Мобилизация питательных элементов в почве - переход минеральных и органических веществ почвы в доступную для питания растений форму.

Нитрификаторы - микроорганизмы, окисляющие аммоний до нитратов и нитритов.

Обменные основания почвы - обменные катионы, входящие в почвенный поглощающий комплекс.

Окружающая среда - совокупность компонентов природной среды, природных и антропогенных объектов.

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.

Плодородие земель сельскохозяйственного назначения - способность почвы удовлетворять потребность сельскохозяйственных растений в факторах, обеспечивающих продукционный процесс.

Плодородие почвы - способность почвы обеспечивать условия, необходимые для жизни растений.

Поглощенные основания почвы - поглощенные почвой катионы (за исключением водорода).

Подкисление почвы - увеличение кислотности почвы, вызванное почвообразовательным процессом, внесением физиологически кислых удобрений, отчуждением оснований с урожаем и другими видами воздействий.

Показатели плодородия почвы - химические, физико-химические, биологические и другие свойства (параметры) почвы, характеризующие ее как среду жизнеобитания растений.

Потери азота газообразные - потери азота почвы и удобрений вследствие улетучивания газообразных соединений азота.

Почва - самостоятельное естественно-историческое органоминеральное природное тело, возникающее на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие соответствующие условия для роста и развития растений.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) - совокупность минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной и обменной способностью.

Свойства почвы агрохимические - совокупность химических свойств почвы, определяющих режим питательных веществ, превращение внесенных удобрений и условия питания растений.

Способность почвы азотфиксирующая - способность почвы связывать молекулярный азот, обусловленная жизнедеятельностью азотфиксирующих микроорганизмов.

Способность почвы денитрификационная - способность почвы переводить окисленные формы азота в более восстановленные газообразные соединения.

Способность почвы нитрификационная - способность почвы окислять аммоний до нитратов в результате жизнедеятельности микроорганизмов.

Способность почвы поглощательная - способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их.

Способность почвы поглощательная обменная - свойство почвы удерживать на поверхности своих частиц ионы, способные к эквивалентному обмену.

Способность почвы поглощательная 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 поглощенных оснований к емкости поглощения катионов, выраженное в процентах.

Сумма поглощенных оснований - общее количество поглощенных оснований в почве.

Трансформация азота в почве - переход одних форм соединений азота в другие.

Углерод почвы общий - валовое содержание углерода в почве.

Углерод почвы органический - содержание органического углерода в почве.

Удобрение - вещество, используемое для питания растений и воспроизводства плодородия почвы.

Фактор емкости - показатель, характеризующий общий запас подвижных форм питательного элемента в почве.

Фиксация аммонийного азота в почве - необменное связывание аммонийного азота почвы.

Формы элементов подвижные - формы химических элементов, извлекаемых из почвы или субстратов с помощью различных вытяжек.

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.

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.

Учебное электронное издание

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В АПК

Учебное пособие

Автор-составитель
РАГИМОВ Александр Олегович

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

Тираж 8 экз.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Изд-во ВлГУ
rio.vlgu@yandex.ru

Институт биологии и экологии
кафедра почвоведения, агрохимии и лесного дела
k.vlgu@yandex.ru