

АГРОХИМИЯ

*Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений
высшего образования по агрономическим специальностям*

Под редакцией доктора сельскохозяйственных наук,
профессора И. Р. Вильдфлуша



Минск
«ИВЦ Минфина»
2023

УДК
ББК
А29

Авторы:

И. Р. Вильдфлуш, В. Б. Воробьев, В. В. Лапа, О. И. Мишура,
А. Р. Цыганов, И. М. Богдевич, Т. Ф. Персикова,
Э. М. Батыршаев, С. П. Кукреш

Рецензенты:

кафедра кормопроизводства УО «Витебская ордена “Знак Почета”
государственная академия ветеринарной медицины»
(кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Н. Н. Зенькова*);
зав. кафедрой агрохимии, почвоведения и сельскохозяйственной
экологии УО «Гродненского государственного аграрного университета»,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. Б. Лосевич*

Агрохимия : учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.] ; под редакци-
ей И. Р. Вильдфлуша. — Минск : ИВЦ Минфина, 2023. — 600 с.

ISBN 978-985-

В учебнике изложены теоретические основы питания растений, свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений, вопросы химической мелиорации почв, состав, свойства и применение минеральных, органических и бактериальных удобрений, системы удобрения сельскохозяйственных культур, влияние удобрений на качество урожая. Большое внимание уделено охране окружающей среде в связи с применением удобрений, агрохимическим способам снижения поступления радионуклидов и тяжелых металлов в растения на загрязненных территориях, применению удобрений в органическом земледелии.

Для студентов учреждений высшего образования по агрономическим специальностям.

УДК
ББК

ISBN 978-985-

© Оформление.
УП «ИВЦ Минфина», 2023

Предисловие

Научно-технический прогресс в земледелии неразрывно связан с интенсивным применением средств химизации (удобрений, пестицидов, регуляторов роста). В мировом земледелии наблюдается прямая зависимость уровня сельскохозяйственного производства от применения минеральных удобрений и средств защиты растений. Развитие химизации позволило заметно ослабить влияние неблагоприятных погодных условий, повысить культуру земледелия, урожайность сельскохозяйственных культур. В настоящее время в развитых странах мира от 30 до 70 % прироста урожая сельскохозяйственных культур получают за счет научно обоснованного применения удобрений. В Республике Беларусь около половины продуктивности сельскохозяйственных культур обусловлена применением удобрений.

Важнейшие задачи агрохимии — создание оптимальных условий питания растений и повышение плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур путем внесения минеральных удобрений, известкования, а также повторного вовлечения в биологический круговорот уже использованных растениями питательных элементов, перешедших в навоз и другие органические удобрения.

Изучение процесса питания растений и взаимодействия между растением, почвой и удобрением составляет теоретические основы агрохимии. Очень важно научиться управлять продуктивностью сельскохозяйственных культур и качеством растениеводческой продукции, обеспечивая оптимальное питание растений на протяжении всей вегетации, широко используя методы оперативной почвенно-растительной диагностики. Практическое осуществление химизации сельского хозяйства, обеспечение комплексного применения химических средств при возделывании сельскохозяйственных культур возложено на агрохимическую службу республики.

В настоящее время рациональное использование земельных ресурсов становится одним из первостепенных условий выхода из экономического кризиса.

Период с 1970 по 1990 г. с полным основанием можно отнести к техногенной интенсификации сельскохозяйственного производства Беларуси. Система удобрений в эти годы была построена с учетом расширенного воспроизводства плодородия почв. Рост производства и применения удобрений, химических средств защиты растений, мелиорация земель, техническое переоснащение и увеличение энергооборуженности обеспечили значительное повышение про-

изводительности почв. Однако отдача в сельском хозяйстве была далеко не адекватна материально-техническим вложениям.

Основной особенностью и принципиальной сущностью нынешнего этапа сельскохозяйственного производства является необходимость наращивания сельскохозяйственного производства в условиях сокращения потребления энергоресурсов. Необходимо более широкое использование биологического азота за счет расширения посевов бобовых культур, применения бактериальных удобрений для усиления симбиотической азотфиксации бобовых культур, а для зерновых и других небобовых культур — бактериальных удобрений на основе ассоциативных азотфиксаторов. Учитывая экономическую ситуацию и мировой опыт, развитие отрасли земледелия и растениеводства в республике должно базироваться на стратегии адаптивной интенсификации, характеризующейся биологизацией и экологизацией интенсификационных процессов.

Анализ мониторинговых агрохимических исследований показал, что в последнее время наметилась тенденция к снижению плодородия почв в ряде районов республики. В связи с этим обеспечение воспроизводства плодородия почв — одна из приоритетных стратегических задач АПК Республики Беларусь.

Энергосбережение при повышении плодородия почв предусмотрено концепцией регулирования баланса питательных элементов в земледелии. Предполагается расширенный возврат органического вещества, макро- и микроэлементов только на тех полях, где содержание соответствующих веществ ниже оптимального уровня и вероятно высокая окупаемость затрат прибавкой урожая с минимальным риском загрязнения окружающей среды. На всей остальной площади сельскохозяйственных угодий предусматривается бездефицитный баланс гумуса и питательных элементов.

Дальнейшее повышение продуктивности почв сельскохозяйственных земель необходимо не за счет повышения объемов применения минеральных удобрений, а за счет повышения эффективности их использования. Важным направлением в растениеводстве может быть период на широкомасштабное применение комплексных удобрений и снижение использования простых стандартных форм.

В последнее десятилетие в системе агрохимического обеспечения произошли изменения, связанные с внедрением научных разработок в части создания новых поколений макро- и микроудобрений, технологических регламентов на их применение и других научных решений. Все эти разработки учтены при написании учебника.

Чтобы получать высокую отдачу от применения удобрений, необходимо организовать их рациональное использование на основе внедрения в хозяйствах энергосберегающих, экологически сбалансированных систем удобрения сельскохозяйственных культур. Поможет решить проблему белка, повысить плодородие почвы увеличение посевной площади под зернобобовыми и другими бобовыми культурами. Очень важно перейти от шаблонного применения

удобрений к управлению питанием растений, широко используя методы почвенно-растительной диагностики.

Авторы преследовали также цель обобщения достижений отечественной и зарубежной агрохимической науки и передовой практики по оптимизации агрохимических свойств почвы и рациональному применению удобрений, обеспечивающих получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур заданного качества, поддержание экологического равновесия агроландшафтов в условиях сокращения потребления энергоресурсов.

Учебник предназначен для студентов по агрономическим специальностям вузов аграрного профиля.

Глава 1

АГРОХИМИЯ — НАУКА О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

1.1. Предмет и методы агрохимии, взаимосвязь ее с другими науками агрономическими и биологическими

Агрохимия — наука о взаимодействии удобрений, почвы, растений и климата в процессе питания растений, круговороте элементов питания в земледелии и рациональном применении удобрений для повышения урожайности, качества продукции и плодородия почвы.

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

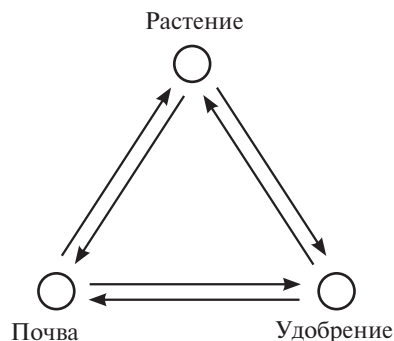


Рис. 1.1. Треугольник Д. Н. Прянишникова

Агрохимия исследует прежде всего 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.

Академик 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 изменять (улучшать) его состав. Главным способом вмешательства в этот круговорот является применение удобрений».

Следует также учитывать биоклиматический потенциал области или района, где используется агрохимические средства, чтобы создавать оптимальные условия питания растений. Поэтому нужно учесть важнейший фактор — климат — в системе — климат—почва—удобрение—растение.

В связи с тем, что климатические условия оказывают большое влияние на взаимодействие растений, почвы и удобрений в треугольнике Д. Н. Прянишникова добавлен и климат (рис. 1.2).

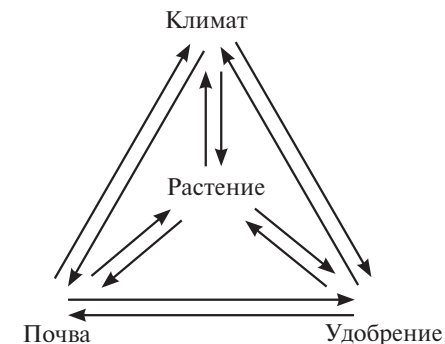


Рис. 1.2. Диалектическая взаимосвязь системы почва—климат—удобрения—растения

Агрохимия изучает удобрения, их свойства и влияние не только на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, но и на окружающую среду. Агрохимики разрабатывают новые формы минеральных удобрений, дозы, сроки и способы внесения,

системы применения удобрений в севооборотах и хозяйствах. Совершенствуются методы анализа растений, почвы и удобрений, а также диагностики питания сельскохозяйственных культур. Новым технологиям использования удобрений дается не только агрохимическая, но и экономическая оценка. Таким образом, агрохимия тесно связана со многими науками: почвоведением, земледелием, растениеводством, экономикой, организацией сельскохозяйственного производства и др.

Объекты изучения агрохимии по В. Г. Минееву приведены на рисунке 1.3.

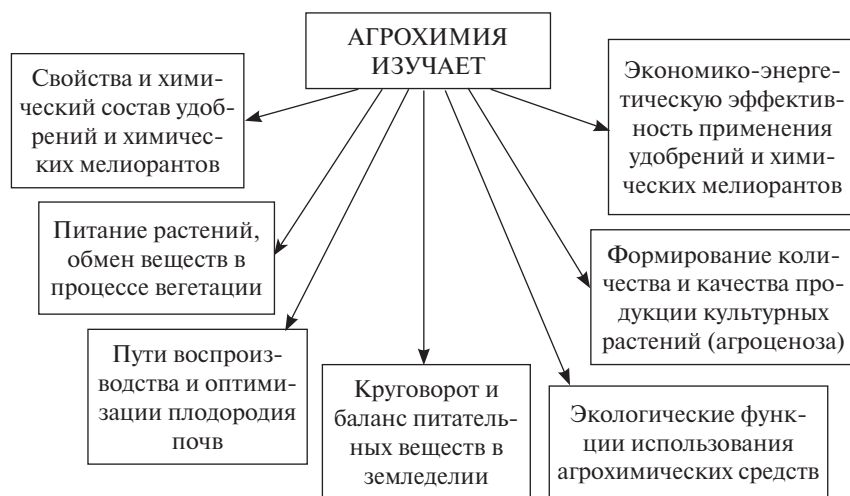


Рис. 1.3. Объекты изучения агрохимии (В. Г. Минеев)

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. Здесь отмечается связь агрохимии с растениеводством, земледелием, защитой растений.

Первый объект исследования, как уже было отмечено — растения, второй — почва. Изучение превращения в почве вносимых удобрений, их действие на свойства почвы связывают агрохимию с почвоведением.

И, наконец, третий объект агрохимии — сами удобрения. Изучая их свойства и эффективность, агрохимия связана не только с сельскохозяйственным производством, но и с химической промышленностью, поскольку оценка новых видов и форм удобрений, выпускаемых ею, определение объема на их производство входит в задачу агрохимии. Имеет агрохимия связь и с другими науками казалось бы даже далекими от агрохимии.

Сейчас, например, появилось новое направление на стыке генетики и агрохимии — генетика минерального питания.

При этом предполагается, используя новые методы селекции, создать сорта ячменя, пшеницы и других зерновых, способных связывать атмосферный азот, расти на кислых и засоленных почвах, и синтезировать в зерне белок, равный по качеству белку сои. Большие перспективы здесь связаны с трансгенными растениями.

Определенные успехи уже в этом направлении сделаны. В Бразилии выведены сорта пшеницы, способные расти на кислых почвах. В Новой Зеландии выведен сорт клевера, который способен использовать фосфор из труднодоступных соединений почвы и хорошо растет на почвах с низким содержанием фосфора.

В агрохимии для анализа растений, почв и удобрений используются практически все известные методы количественного и качественного анализа, а также статистические методы обработки результатов полевых, вегетационных и лабораторных опытов. В связи с этим агрохимия связана с физикой, математикой и другими науками.

Большое внимание уделяет агрохимия круговороту веществ в земледелии (рис. 1.4).

Агрохимия с одной стороны, исследует влияние разных типов почв и удобрений на обмен веществ в растении, на формирование урожая, его величину и качество, с другой — изучает влияние растений на плодородие почвы, взаимоотношение почвы и удобрений.

В агрохимии используются биологические, лабораторные и статистические методы.

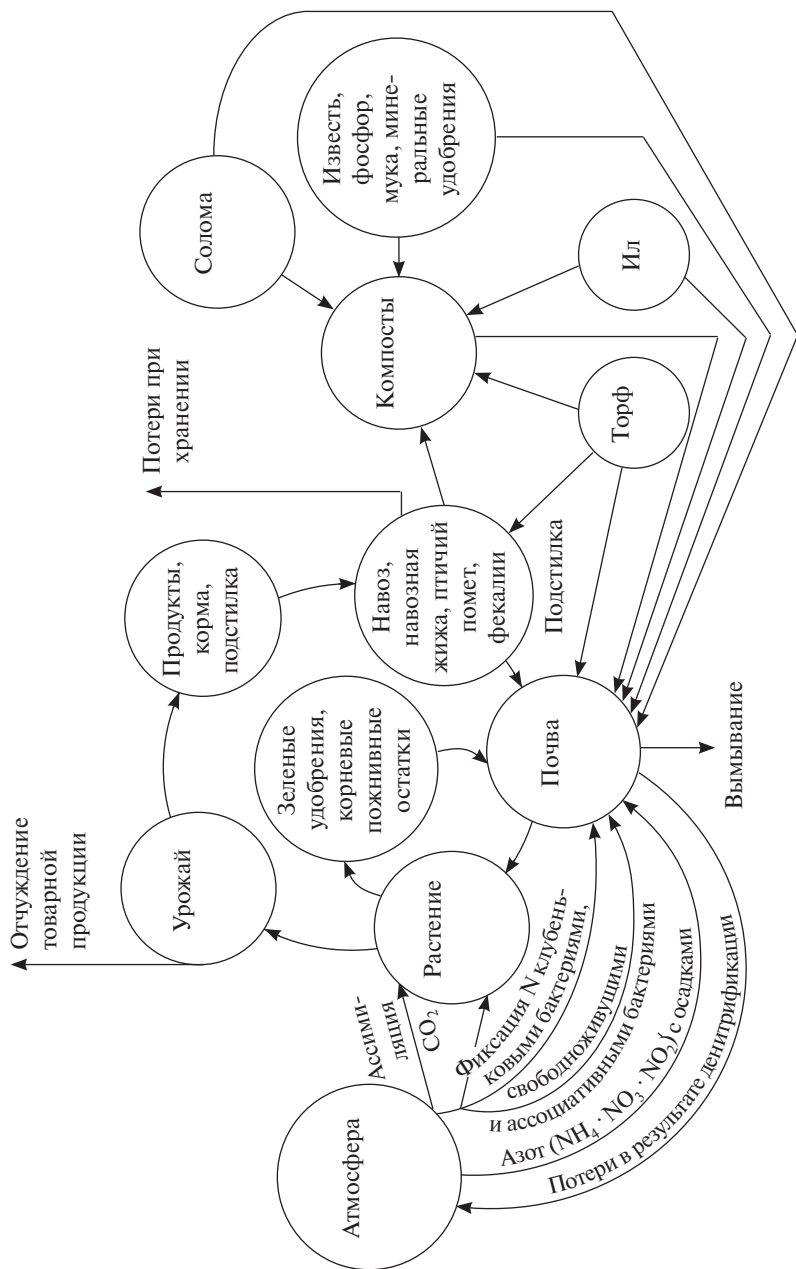


Рис. 1.4. Круговорот веществ в земледелии

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. По образному выражению Ж. Буссенго, эти методы позволяют «спрашивать мнение самого растения».

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. Среди них важное место принадлежит методу меченых атомов с использованием радиоак-

тивных 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 др. Практически все известные методы количественного анализа используются в агрохимии.

Агрохимический анализ растений проводится с целью:

- 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:

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

Агрохимический анализ удобрений проводится с целью:

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

1.2. История развития агрохимических знаний. Роль отечественных и зарубежных ученых в развитии агрохимии

Агрохимия, как и любая другая наука, появилась, чтобы ответить на вопросы, возникшие в процессе практической деятельности человека. Многие тысячелетия в земледелии применяются навоз, зеленые удобрения, известь, гипс, зола. Однако научное обоснование влияния их на плодородие почвы было дано сравнительно недавно. Почему навоз повышает урожайность, одним из первых попытался объяснить французский художник и естествоиспытатель Б. Палисси (ок. 1510–1589). В 1563 г. он писал, что «соль есть основа жизни и роста всех посевов». Навоз, считал он, содержит соли, которые получаются при разложении сена и соломы.

Через 100 лет немецкий химик И. Глаубер (1604–1668) выдвинул гипотезу о том, что главным элементом навоза, влияющим на урожайность, является селитра, которую к тому времени уже давно получали из навоза для изготовления пороха. Внесение селитры действительно повышало урожайность, но объяснение, почему это происходит, было дано лишь после открытия азота, т. е. спустя еще 100 лет. Исследования по воздушному питанию английским химиком Дж. Пристли (1733–1804), швейцарским физиологом Ж. Сенебье (1742–1809) и других ученых того времени, установлено, что зеленые листья, поглощая углекислоту, на свету выделяют кислород и запасают углерод.

Научное обоснование корневого питания растений шло медленнее, чем воздушного. В 1761 г. шведский ученый Валериус вы-

сказал предположение, что растения питаются гумусом и что только органические вещества почвы являются пищей для растений, а другие вещества, например мел, могут способствовать растворению веществ гумуса. Сторонником «гумусовой» теории также был немецкий агроном А. Тэер (1752–1828).

Большой вклад в развитие науки о питании растений внес французский ученый Ж. Буссенго (1802–1887). Он первым стал изучать азотное питание растений и доказал важное значение азота в земледелии. В 1836–1838 гг. Буссенго установил, что бобовые культуры обогащают почву азотом, поглощая его из воздуха. Исследуя углеродное питание, он доказал, что источником углерода для растений является углекислый газ воздуха.

Существенный вклад в обоснование несостоятельности «гумусовой» теории внесла книга Юстуса Либиха (1803–1873) «Химия в приложении к земледелию и физиологии» (1840). В ней была сформулирована теория минерального питания растений, основным положением которой является то, что растение питается только неорганическими веществами. Либих рекомендовал возвращать в почву прежде всего те вещества, которыми она особенно бедна, так как именно от этого зависит величина урожая: если в почве мало фосфора, то внесением азота и калия оптимальные условия питания создать невозможно.

Это открытие Либиха, получившее название закон минимума, и его утверждения о необходимости возвращать почве извлеченные из нее растениями питательные элементы, К. А. Тимирязев назвал «одним из важнейших приобретений науки».

Теория Либиха о минеральном питании растений оказала большое влияние на развитие агрохимии. Во многих странах развернулись агрохимические исследования, началось использование минеральных удобрений в земледелии, строительство предприятий по их производству.

Большой вклад в науку о питании растений внесли исследования немецкого агрохимика Г. Гельригеля (1831–1895). В 1886 г. была опубликована его работа об усвоении азота из воздуха бобовыми. В России клубеньковые бактерии на корнях бобовых обнаружил еще в 1865 г. ботаник и миколог М. С. Воронин (1838–1903).

Опыты выращивания растений на питательных смесях подтвердили необходимость для растений азота, фосфора, калия, каль-

ция, магния и серы, благодаря им были установлены концентрации и соотношение элементов в растворах. Позднее была доказана потребность растений в микроэлементах, а также невозможность заменить один элемент питания другим.

С 60–70 гг. XIX в. в России развертываются широкие научные исследования в области питания растений и применения удобрений.

А. Н. Энгельгардт (1832–1893), профессор Петербургского земледельческого института, демократический деятель, автор писем «Из деревни», книги «Химические основы земледелия» предложил использовать фосфориты на удобрение в виде фосфоритной муки. Он обследовал залежи фосфоритов в Курской, Смоленской и других губерниях России. В 1868 г. начали работать заводы по изготовлению фосфоритной муки. Зону применения фосфоритной муки на дерново-подзолистых почвах Д. Н. Прянишников назвал «энгельгардтовской зоной». Энгельгардт разрабатывал способы совместного применения органических, минеральных удобрений и известкования.

Выдающийся ученый-химик Д. И. Менделеев (1834–1907) создал опытные станции в Московской, Петербургской, Симбирской и Смоленской губерниях, где проводились агрохимические исследования: изучались состав и свойства почв, влияние удобрений на плодородие угодий и урожайность культур. Он рекомендовал больше уделять внимания изучению фосфорных и «щелочно-поташных» (калийных) удобрений, а также широко применять навоз, азотные удобрения и известь.

В становление агрохимической науки большой вклад внес К. А. Тимирязев (1843–1920). Кроме изучения фотосинтеза он большое внимание уделял биологическому синтезу азота бобовыми, считая, что получение азотных удобрений из азота воздуха обещает крутой поворот в земледелии. Ему принадлежит разработка методики проведения вегетационных опытов.

Систематическая научно-исследовательская работа по изучению взаимодействия растений, почв и удобрений в России связана с большой научной и организаторской деятельностью Д. Н. Прянишниковой (1865–1948). Он обосновал теорию аммиачного и нитратного питания растений, разработал рекомендации по применению аммиачных удобрений. Им выполнены классические

исследования по азотному обмену в растениях. Под руководством Д. Н. Прянишникова изучались вопросы фосфорного и калийного питания растений. Нет ни одного серьезного направления в агрохимии, в котором не принимал бы активного участия академик Прянишников. Он доказывал необходимость расширения посевов бобовых культур, улучшающих баланс азота и гумуса почвы.

Почвовед и агрохимик академик К. К. Гедройц (1872–1932) разработал основы коллоидной химии почв, методы их химического анализа, определил виды поглотительной способности, разрабатывал вопросы теории известкования кислых почв.

Большой вклад в развитие агрономической химии внесли А. Н. Лебедев, Д. А. Сабинин, Ф. В. Турчин, О. К. Кедров-Зихман, А. В. Петербургский, Т. Н. Кулаковская и др.

В Беларуси первые агрохимические исследования проводились в Горы-Горетском земледельческом институте (сегодня — БСГХА). Здесь в 1840 г. было организовано первое в России опытное поле для изучения севооборотов, агротехники возделывания различных культур, проверки сельскохозяйственных орудий, а также удобрений.

На протяжении десяти лет опыты с удобрениями проводились под руководством профессора И. А. Стебута (1833–1923), выпускника Горы-Горетского института (1854 г.). Первым в России он исследовал известкование кислых почв, а также проводил опыты с органическими и минеральными удобрениями.

После 1917 г. в Горках была создана сеть сельскохозяйственных опытных станций и опытных полей, на которых исследовалась агротехника культур, разрабатывались способы повышения урожайности и продуктивности животных, изучались проблемы механизации и экономики сельскохозяйственного производства.

Большие и разноплановые исследования по агрохимии проводились под руководством академика О. К. Кедрова-Зихмана (1885–1963), который с 1921 по 1931 г. заведовал кафедрой агрохимии Белорусской сельскохозяйственной академии. Им изучалось известкование почв, применение органических, а также микроудобрений. Впервые были поставлены опыты с фосфоритами из Мстиславского месторождения. Под руководством академика Е. К. Алексева (1884–1972) в БСХА исследовалась эффективность зеленых удобрений на почвах нечерноземной зоны.

В 30-е годы в Беларуси было 70 сельскохозяйственных научных учреждений. Центром агрономической науки в тот период стали научные институты сельского хозяйства АН БССР и Белорусский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии (БелНИИПА), которым руководил академик В. И. Шемпель (1908–1975). Он занимался разработкой рациональных систем удобрения сельскохозяйственных культур.

Большая заслуга в развитии агрохимии в семидесятых и первой половине восьмидесятых годов принадлежит академику ВАСХНИЛ, Герою Социалистического Труда Т. Н. Кулаковской (1919–1986). Она исследовала зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур от агрохимических свойств почвы, ею разработаны практические рекомендации по обоснованию дифференцированных доз удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Фундаментальные исследования по локальному внесению удобрений, позволявшему на 25–30 % снизить дозы удобрений и существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур, были проведены в 1963–1972 гг. в БСХА под руководством профессора Р. Т. Вильдфлуша (1906–1972) и в 1973–1992 гг. под руководством профессора А. А. Каликинского (1915–1993).

В настоящее время исследования по агрохимии и почвоведению в республике проводятся в «Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», Республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию», Институте льна, областными опытными станциями, проектно-испытательными станциями по химизации сельского хозяйства, а также в сельскохозяйственных вузах.

Исследования последних двадцати лет обогатили новыми данными теорию о поступлении и превращении в растении питательных элементов, науку о плодородии почвы, о круговороте веществ в земледелии. Эти данные явились научной основой планирования потребности регионов и областей в удобрениях, их ассортимента, а также строительства туковых заводов, складских помещений для удобрений, технологии их внесения. Исследования продолжаются и в настоящее время для выяснения особенностей действия минеральных и органических удобрений в различных природных зонах. Научными агрохимическими учреждениями изучаются перспек-

тивные формы удобрений, сроки и способы их внесения, совершенствуются методы расчетов доз удобрений и диагностики питания растений с целью повышения их окупаемости и предохранения биосферы от загрязнения.

1.3. Агрохимия как научная основа химизации земледелия. Значение удобрений и их производство в мире и Беларуси. Достижения современной агрохимии и передовой практики в Беларуси и за рубежом

С 1950 по 1999 г. количество «едоков» на планете увеличилось в два с лишним раза и составило 6 млрд, а в 2022 г. — 7,9 млрд человек. По прогнозам к 2025 г. численность населения достигнет 8,45 млрд человек. Естественно, с ростом населения увеличивается потребность в продовольствии. Специалисты считают, что ежегодный прирост продуктов питания должен в ближайшие десять лет составлять 3–4 %.

Увеличить производство продуктов питания возможно двумя путями: расширяя посевные площади или повышая урожайность сельскохозяйственных культур. Увеличение посевных площадей ограничено пространственно, а кроме того, связано с большими затратами.

Ученые по-разному оценивают значение удобрений в повышении урожайности. По оценке американских ученых, за счет удобрений получают 41 % прироста урожайности, французские специалисты считают, что 50–70 %. По данным академика РАСХН В. Г. Минеева, удобрения повышают продуктивность дерново-подзолистых почв на 55 %, серых лесных — на 28 % и черноземов — на 20 %. По данным Института агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 1 кг азотных удобрений увеличивает сбор пшеницы на 4,5–8,0 кг, 1 кг фосфорных (P_2O_5) — на 4,0–7,3 кг и 1 кг калийных (K_2O) — на 2,2–3,7 кг, а урожайность картофеля от каждого килограмма азота, фосфора и калия повышалась соответственно на 100–120, 50–60 и 40–50 кг.

Отец «зеленой революции» лауреат Нобелевской премии Норман Борлауг считает, что не менее 50 % увеличения урожая в XX в. является следствием применения удобрений. Он отмечал, что од-

ним из наиболее важных факторов, ограничивающих урожай сельскохозяйственных культур в мире и в следующем столетии, будет плодородие почвы.

По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 1 кг азота, фосфора и калия (NPK) при оптимальных дозах увеличивает урожайность зерновых на 6,5–9,0 кг, картофеля — на 20 кг и сахарной свеклы — на 30 кг. Внесение 1 т органических удобрений дает прибавку 15–25 кг зерна, 105 кг картофеля, 125 кг сахарной свеклы, кукурузы на силос 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне — 30 к. ед.

Ухудшение состояния окружающей среды заставляет человечество искать способы снижения экологической нагрузки на природу и человека.

Таким образом, повышение урожайности сельскохозяйственных культур напрямую связано с минеральными удобрениями, правильное применение которых, кроме того, улучшает качество продукции. Так, внесение азотных удобрений повышает содержание белка в зерне на 1–3 %. Если бы в мире в целом содержание белка в зерне удалось повысить на 1 %, его сбор увеличился бы на 12 млн т, при дефиците в настоящее время 10 млн т. Внесение фосфорных и калийных удобрений способствует повышению накопления крахмала в картофеле, сахара в корнеплодах сахарной свеклы, увеличивает выход волокна в прядильных и жира в масличных культурах. Однако неправильное (несбалансированное) применение удобрений чревато ухудшением качества растениеводческой продукции.

Минеральные удобрения и известкование стабилизируют содержание гумуса в почве, способствуя увеличению количества пожнивных и корневых остатков. Удобрение почвы положительно влияет на ее водный режим, создает условия для более продуктивного использования растениями влаги. На это обращал внимание еще К. А. Тимирязев. По данным И. С. Шатилова, озимая пшеница на удобренных землях использовала влаги в 1,8 раза меньше, чем на неудобренных.

С 1905 по 1960 г. в мире производилось больше фосфорных удобрений. Так, в 1905–1906 гг. было произведено 336 тыс. т N, 1047 тыс. т P_2O_5 и 515 тыс. т K_2O , а в 1959–1960 гг. — 9537, 9747 и 8128 тыс. т соответственно. В 1999 г. было получено 79 189 тыс. т N, 37 393 тыс. т P_2O_5 и 26 886 тыс. т K_2O или в сумме 143 468 тыс. т NPK.

Долгое время лидером в производстве минеральных удобрений в мире был СССР, где в 1988 г. было произведено 37,1 млн т NPK. В 1990 г. в СССР производство минеральных удобрений снизилось до 31,7 млн т. В США в этом году было получено 23 млн т, Китае — 19, Франции — 3,7 и Германии — 2,7 млн т минеральных удобрений.

За 20 лет (с 1970 по 1990 г.) внесение минеральных удобрений в мире на 1 га пашни возросло почти в два раза (с 53,7 до 102,6 кг NPK).

В бывшем СССР применение удобрений с 1970 по 1990 г. на 1 га возросло более чем в 2 раза (с 45,3 до 96,5 кг). В Восточной Европе применение удобрений практически не изменилось (193,3 и 142,1 кг NPK на 1 га). В то же время в Западной Европе в этот промежуток времени применение удобрений возросло с 217,7 до 251,3 кг NPK.

В мире в последнее время сохраняется тенденция роста производства и применения минеральных удобрений. Объем применения минеральных удобрений в 1988–2006 гг. составил 136,93 млн т, а в 2008–2009 гг. — 174,7 млн т. По данным Международной ассоциации производителей удобрений, применение минеральных удобрений и в дальнейшем будет возрастать.

В 2021–2022 гг. в мире применялось 193,6 млн т NPK в том числе N — 108,4 млн т, P₂O₅ — 48,6 млн т, K₂O — 36,6 млн т. Крупнейшими производителями удобрений является Китай, который контролирует 21 % рынка удобрений, США (13 %) и Индия (10 %). Крупным производителем минеральных удобрений является Российская Федерация в которой в 2020 году производство минеральных удобрений составило 52 млн т в физическом весе.

По интенсивности применения минеральных удобрений в расчете на 1 га пашни порядок первых десяти стран распределился следующим образом: Малайзия — 630 кг/га, Голландия — 570, Корея — 534, Иордания — 520, Бельгия — 429, Египет — 426, Новая Зеландия — 424, Япония — 396, Великобритания — 365, Колумбия — 297; в мире (в среднем) — 98 кг/га.

Между дозами применяемых удобрений на 1 га пашни и урожайностью существует четкая связь. Самые высокие дозы минеральных удобрений в Европе применяют в Нидерландах, Великобритании и Франции. Урожайность зерновых в среднем за десять лет в этих странах также самая высокая и составляет соответственно 82,9, 73,2 и 70,8 ц/га.

В Китае уровень применения минеральных удобрений повысился до 270 кг/га NPK при урожайности зерновых более 40 ц/га. В США применяется около 150 кг/га NPK при урожайности зерновых 50 ц/га. Кукуруза в этой стране возделывается на площади около 30 млн. га при урожайности зерна 80 ц/га.

В последние десятилетия земледельцы многих стран с интенсивным ведением сельского хозяйства по-новому оценивают значение органических удобрений. Будучи эффективным средством повышения плодородия почв и источником питания для сельскохозяйственных растений, навоз, торф, сапропель и другие виды органических удобрений способствуют закреплению в почве радиоактивных веществ, тяжелых металлов и некоторых пестицидов. В год в целом на планете в почву вносится около 25 млрд т органических удобрений (в пересчете на стандартный навоз) или примерно 15 т на 1 га пашни. Больше всего они используются в Нидерландах — около 70 т/га, Англии — 25 и США — 14 т/га. В среднем по всем странам мира с органическими удобрениями в почву поступает питательных элементов больше, чем с минеральными (исключения составляют государства Европы и США).

В Беларуси минеральные удобрения начали производить в 1965 г. В 1990 г. было получено 6 млн т удобрений в действующем веществе, в том числе калийных — 5,0 млн т, азотных — 0,75 млн т и фосфорных — 0,25 млн т. Основные производители минеральных удобрений: азотных — Гродненское производственное объединение «Азот», фосфорных — Гомельский химический завод и калийных — производственное объединение «Беларуськалий».

За 25 лет (1965–1990) урожайность сельскохозяйственных культур в среднем по республике возросла вдвое и достигла 43 ц/га к. ед. на пашне и 19,6 ц/га к. ед. на сенокосах и пастбищах. Причем 56 % прироста продуктивности пашни и 43 % лугов и пастбищ дало внесение органических и минеральных удобрений.

Система удобрений в эти годы была построена с учетом расширенного воспроизводства плодородия почв. За период интенсивной химизации земледелия вдвое увеличился потенциальный уровень плодородия почв. Содержание гумуса в пахотных почвах повысилось до 2,2 %, подвижного фосфора — до 190 мг/кг, калия — до 182 мг/кг почвы, а доля почв с благоприятной реакцией

(рН в КСl > 5,5) в результате известкования достигла 76 %. Окультуривание почв улучшенных сенокосов и пастбищ было вдвое менее интенсивным. Тем не менее отдача от интенсивной химизации сельского хозяйства была далеко не адекватна материально-техническим вложениям.

Экономический кризис, последовавший после развала СССР в 1991 г., обусловил резкое уменьшение ежегодного применения удобрений. Использование удобрений в сельском хозяйстве Беларуси снизилось с 1 563 тыс. т д. в. в 1991–1993 гг. до 532 тыс. т в 1995 г. В 1995 г. в расчете на 1 га пашни было внесено только 86 кг NPK, в том числе 29 кг N, 12 P₂O₅ и 45 K₂O.

С 1991 по 1995 г. валовой сбор продукции растениеводства в республике уменьшился с 27 090 до 20 043 тыс. т к. ед.

Продуктивность пашни в 1995 г. снизилась по сравнению с 1986–1991 гг. на 12,3 и составила 30,5 ц/га к. ед.

Одной из первоочередных задач в сельском хозяйстве является увеличение объемов применения удобрений до уровня, обеспечивающих урожайность зерновых 40 ц/га, выход растениеводческой продукции с гектара пашни 50–60 ц к. ед. при одновременном поддержании достигнутого потенциала плодородия почв и повышении эффективности удобрений на 30–40 %.

Учитывая экологическую ситуацию и мировой опыт, развитие отрасли земледелия в Беларуси должно базироваться на стратегии адаптивной интенсификации, которая характеризуется биологизацией и экологизацией интенсификационных процессов.

Энергосбережение при повышении плодородия почв предусмотрено концепцией регулирования баланса питательных элементов в земледелии. Предполагается расширенный возврат органического вещества и питательных элементов только на тех полях, где содержание соответствующих макро- и микроэлементов ниже оптимального уровня и вероятно высокая окупаемость затрат прибавкой урожая с минимальным риском загрязнения окружающей среды. Поддержание бездефицитного баланса гумуса и элементов минерального питания в почве является обязательным на всей площади сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, должную отдачу от удобрений можно получить только при комплексном применении удобрений со средствами защиты растений и при общей высокой культуре земледелия.

Анализ уровня применения удобрений и сопоставления его с урожайностью сельскохозяйственных культур за последнее 25 лет показывает, что между ними прослеживается тесная связь. В 1996–2000 гг. на 1 га пашни применялось 149 кг NPK, а в 2011–2015 гг. — 263 кг. Соответственно урожайность зерновых за эти периоды возросла с 29,0 до 33,9 ц/га, клубней картофеля с 117 до 208 и продуктивность пашни с 29,1 до 44,9 ц/га к. ед.

На 1 га пахотных земель в 2009 г. внесено 205 кг NPK, 2011 г. 313 кг и в среднем за 2011–2015 гг. 263 кг. Однако в 2016 г. применение NPK снизилось до 147 кг на 1 га пашни, в 2020 г. возросло до 192 кг (табл. 1.1). Сопоставление двух последних туров агрохимического обследования показало, что содержание гумуса в пахотных почвах практически не изменилось (табл. 1.1). В 2009 г. на 1 га пашни внесено только 8,9 т/га и в 2011–2015 гг. 10,1 т/га органических удобрений, что не обеспечивает бездефицитный баланс гумуса. В последнем туре агрохимического обследования по сравнению с предыдущим прослеживается тенденция к небольшому снижению содержания подвижных форм фосфора и калия.

Основными факторами, обеспечивающими формирование высокопродуктивных посевов сельскохозяйственных культур, являются обеспеченность хозяйств минеральными удобрениями и состояние плодородия почв. В настоящее время среднее содержание подвижного фосфора в пахотных почвах республики составляет 174 мг/кг, калия — 205 мг/кг почвы, содержание гумуса — 2,26 %, показатель кислотности почв рН_{КСl} 5,81.

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии», за счет достигнутого уровня плодородия почв (балл 31,2) можно получить урожайность зерновых культур 15,6 ц/га (окупаемость 1 кг NPK 0,5 ц на 1 балло-гектар). Для получения средней урожайности зерновых культур в целом по стране 40 ц/га необходимо за счет минеральных удобрений сформировать дополнительную урожайность 24,4 ц/га.

Внесение минеральных удобрений должно базироваться на точном расчете их потребности, основанном на учете состояния плодородия почв и необходимости его повышения, биологических особенностей возделываемых культур и уровня планируемой урожайности.

Таблица 1.1. Динамика применения удобрений, изменения агрохимических свойств почвы и урожайности сельскохозяйственных культур на пахотных почвах Беларуси

Показатель	Годы															
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015	2016	2017	2018	2019	2020
Внесено NPK, кг/га	259	177	149	156	261	313	283	274	236	209	263	158	155	168	165	192
Внесено органических удобрений, т/га	14,4	11,6	8,1	6,3	8,0	10,3	9,9	9,5	10,7	10,3	10,1	9,7	9,8	9,2	9,8	10,2
Средневзвешенная величина рН _{KCl}	5,81	5,88	5,88	5,98	–	–	5,89	–	–	–	5,84	–	–	–	–	5,81
Содержание гумуса, %	2,18	2,24	2,27	2,28	–	–	2,23	–	–	–	2,25	–	–	–	–	2,26
Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	173	190	188	177	–	–	191	–	–	–	188	–	–	–	–	174
Содержание K ₂ O, мг/кг	156	182	172	190	–	–	218	–	–	–	218	–	–	–	–	205
Урожайность зерновых и зернобобовых культур, ц/га	25,9	24,3	19,7	–	–	32,2	34,4	29,7	36,7	36,5	33,9	31,5	33,3	26,7	30,4	35,0
Урожайность картофеля, ц/га	151	131	117	–	–	221	186	214	210	208	208	252	232	216	229	224

Анализ данных, приведенных на рис. 1.5, свидетельствует об устойчивом повышении доз минеральных удобрений в Беларуси в период 2000–2011 гг. В 2011 г. средняя доза внесения минеральных удобрений на пахотных почвах была в 1,8 раза выше уровня 2000 г. и заметно превышала уровень 1990 г. В 2011 г. на 1 га пашни внесено 313 кг NPK.

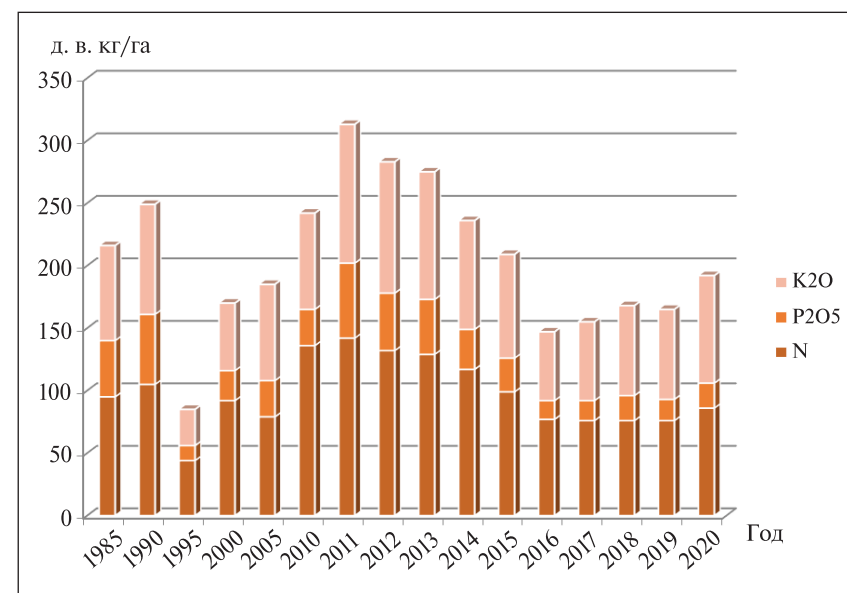


Рис. 1.5. Динамика доз минеральных удобрений на пахотных почвах Беларуси

Дозы всех видов удобрений в 2006–2013 гг. были достаточны как для формирования высокого уровня урожайности полевых культур, так и для воспроизводства плодородия почв. Однако в последние семь лет обозначилась негативная тенденция снижения доз всех видов удобрений, особенно фосфорных. В 2020 г. было внесено 192 кг NPK, в том числе 86 кг азота, 20 кг фосфора и 86 кг калия (рис. 1.5).

Применение минеральных удобрений на улучшенных сенокосах и пастбищах уже ряд лет неудотворительно, а по сравнению с 2011 г. уменьшилось более чем в 2 раза.

Расширенное воспроизводство плодородия почв невозможно без системного применения минеральных удобрений. Система

применения удобрений в Беларуси должна предусматривать компенсацию выноса элементов питания с урожаем и обеспечивать постепенное повышение запасов в почвах гумуса и элементов минерального питания растений до оптимального уровня.

С целью регулирования содержания в почвах элементов питания и более эффективного использования удобрений дозы фосфорных и калийных удобрений на почвах с оптимальным содержанием фосфора и калия рассчитываются на уровне, необходимом для получения планируемых урожаев и поддержания нижней границы оптимума (100 % компенсация выноса с урожаем). При более высоких запасах фосфора и калия рекомендуемые дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются на уровне 50 % компенсации выноса этих элементов с урожаем. На почвах с низким содержанием фосфора и калия дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются с учетом планируемого урожая и повышения запасов P_2O_5 и K_2O на 10–50 мг/кг за ротацию севооборота, т. е. не менее 120 % компенсации выноса с урожаем. При этом дозы азотных удобрений рассчитываются по оптимальному уровню на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур.

Производство удобрений в Беларуси за 2012–2016 гг. выросло на 23 %, достигнув 7,2 млн т д. в., за счет повышения в основном калийных удобрений. Структура производства минеральных удобрений в республике — азотные, фосфорные, калийные и комплексные. Производство минеральных удобрений в Республике Беларусь в 2013–2019 гг. показывает, что оно в 2013–2019 гг. возросло с 5273 тыс. т до 8553 тыс. т д. в. NPK (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Производство минеральных удобрений в Беларуси в 2013–2019 гг., тыс. т д. в.

Удобрения	Год						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Удобрения минеральные	5279	7368	7508	7198	8157	8427	8553
В том числе:							
азотные	833	842	861	843	854	870	988
фосфорные	203	186	179	175	201	211	217
калийные	423	6340	6468	8190	7102	7346	7348

Возрастание количества применяемых минеральных удобрений происходило в основном за счет калийных. В 2019 г. было про-

изведено 988 тыс. т азотных, 217 тыс. т фосфорных и 7348 тыс. т калийных.

Соотношение N:P:K в Беларуси составляет 1:0,3:1,3 (2016 г.). В России это соотношение — 1:0,4:0,2, в Германии — 1:0,2:0,3.

В Беларуси высока роль органических удобрений, поскольку они являются незаменимым и повсеместно доступным источником пополнения запасов гумуса и элементов питания в почве. В связи с удорожанием энергоносителей, уменьшением поголовья скота и сокращением использования торфа внесение органических удобрений на пахотных землях Беларуси в 1990 году уменьшилось от 14,4 до 6,2–6,3 т/га (рис. 1.6).

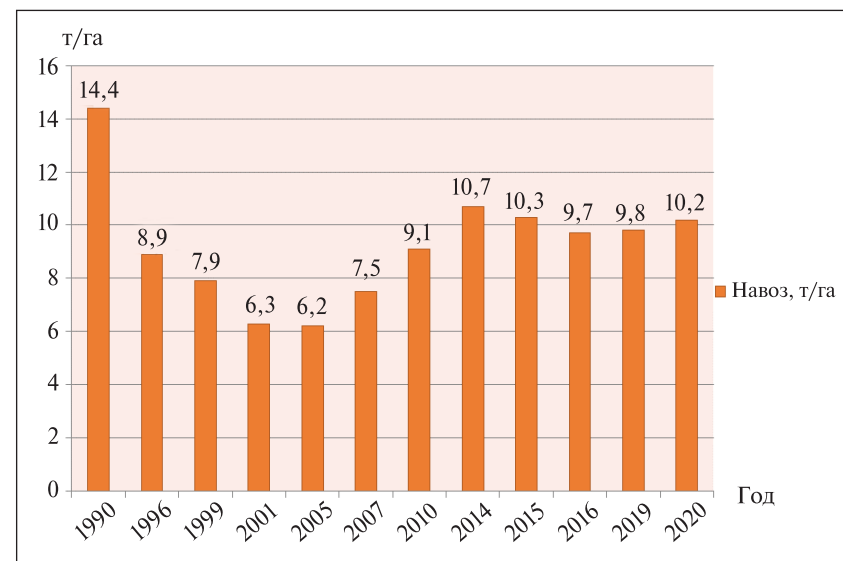


Рис. 1.6. Дозы внесения органических удобрений на пахотных почвах Беларуси

В последние годы работа по заготовке и внесению органических удобрений в хозяйствах республики существенно улучшилась, однако объемы применяемых органических удобрений все еще недостаточны для обеспечения повсеместного бездефицитного баланса гумуса (рис. 1.7).

Темпы минерализации гумуса в почвах зависят от технологии возделывания сельскохозяйственных культур и способов обработ-

ки почв, структуры посевных площадей и урожайности сельскохозяйственных культур. Важную роль в достижении бездефицитного баланса гумуса в почвах республики следует отвести совершенствованию структуры посевов. Изменения в структуре посевных площадей заключаются в расширении доли площади пропашных культур с 9,3 % в 1996 г. до 26,2 % в 2012 г., особенно за счет кукурузы и сахарной свеклы (рис. 1.7).

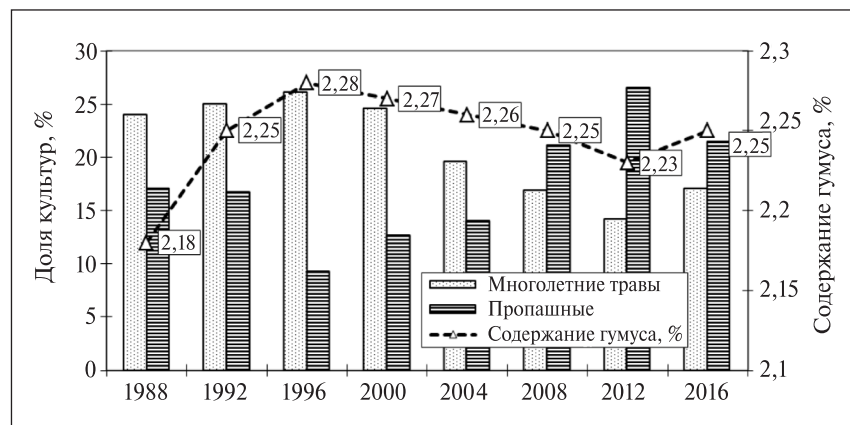


Рис. 1.7. Динамика структуры посевов и содержания гумуса в пахотных почвах Беларуси за период 1988–2016 гг.

Одновременно сократилась с 26,1 до 14,2 % доля посевов многолетних трав, главного гумусообразующего и почвозащитного фактора современного земледелия. Если в 1996 г. в среднем по Беларуси на 1 га пропашных культур приходилось 2,8 га многолетних трав, то в 2012 г. это соотношение составило 0,5 га, а 2019–0,7 га. При такой структуре посевов процессы минерализации гумуса существенно превышают процессы его синтеза.

Оптимизация степени кислотности является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур и эффективного использования удобрений.

Известкование почв. Интенсивное известкование кислых почв в республике проводится с 1965 г. За этот период была создана система научного и материально-технического обеспечения работ: Витебское ОАО «Доломит», производящее высококачественную доломитовую муку; районные объединения «Агросервис»,

осуществляющие хранение, транспортировку и внесение извести в почву, агрохимическая служба, контролирующая дозы извести, качество работ и изменение степени кислотности почв. Научное обеспечение проблемы известкования на протяжении всего периода осуществляет Институт почвоведения и агрохимии.

Системное известкование за полувековой период позволило исключить повышенную кислотность почв из числа факторов, лимитирующих производство растениеводческой продукции, оптимизировать реакцию почв, произвести насыщение поглощающего комплекса почв кальцием и магнием на основных массивах сельскохозяйственных земель. Уже более двадцати лет проводятся работы поддерживающего характера. Известковые мелиоранты вносятся в дозах для компенсации оснований вследствие выщелачивания вглубь профиля почвы и выноса с отчуждаемой частью растениеводческой продукции. В последние годы прослеживается заметная тенденция подкисления пахотных почв во многих районах Беларуси. Главной причиной нарастающего подкисления пахотных почв становится дефицит финансирования и снижение количества используемых мелиорантов (рис. 1.8).

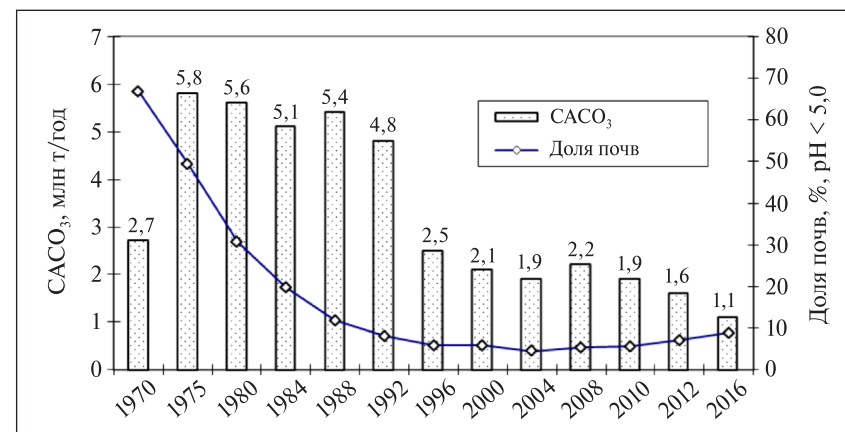


Рис. 1.8. Динамика среднегодового объема внесения извести (млн т CaCO₃) и доли площади сильно- и среднекислых почв с показателем pH < 5,0 на пашне Беларуси

Для поддержания оптимальной реакции и насыщенности поглощающего комплекса почв обменными формами кальция и маг-

ния необходимо ежегодно проводить известкование на площади 474 тыс. га пахотных и луговых земель с внесением 2,2 млн т известковых мелиорантов (доломитовой муки, дефеката, сапропеля) в пересчете на CaCO_3 . Фактически за 2008–2010 гг. было внесено 88 % требуемого количества извести с колебаниями по областям 74–100 %. В последующие годы дефицит финансирования нарастал и за период 2013–2016 гг. было внесено извести по республике только 58 % от потребности. В 2016–2020 гг. ежегодный объем известкования составил 212 тыс. га. Внесено 1,074 млн т CaCO_3 или 5,1 т/га, т. е. по-прежнему объемы известкования ниже требуемого количества.

Поддерживающее известкование особенно важно в интенсивном земледелии на фоне применения повышенных доз азотных удобрений, способных подкислять реакцию почвенного раствора. Задача агрохимической службы состоит в том, чтобы объемы известкования соответствовали темпам подкисления почв.

На улучшенных сенокосах и пастбищах за последние годы процессы подкисления луговых почв пока менее интенсивны. Тем не менее очевидна необходимость восстановить требуемый ежегодный объем внесения извести (2,2 млн т CaCO_3) для предотвращения существенного подкисления почв сельскохозяйственных земель, последующего снижения эффективности минеральных удобрений, недобора урожайности сельскохозяйственных культур и потери качества продукции.

Исходя из биологических особенностей сельскохозяйственных культур и перспектив развития химических заводов республики определяется ассортимент минеральных удобрений. Азотные удобрения производятся в форме карбамида, КАС, карбамида с гуматами, сульфата аммония, комплексных удобрений.

Ассортимент фосфорных удобрений должен быть представлен удобрениями, содержащими не менее 70 % водорастворимых фосфатов (аммофос, аммонизированный суперфосфат и комплексные удобрения).

Ассортимент калийных удобрений представлен в форме хлористого калия и комплексных удобрений.

Производство комплексных удобрений является наиболее перспективным по сравнению с простыми формами удобрений, так как позволяет существенно сократить затраты на их внесение в почву,

сбалансировать минеральное питание сельскохозяйственных культур и повысить равномерность их распределения по полю.

Как и всякая наука, агрохимия не стоит на месте, постоянно развивается.

Из достижений агрохимии последних десятилетий следует отметить следующие. Достигнуты большие успехи в развитии учения об оптимизации агрохимических показателей почв высокого плодородия, регулировании питания растений с целью получения высококачественной продукции. Значительный вклад в исследованиях в данном направлении внесли белорусские ученые. Поэтому центральная задача агрохимии — сохранение и улучшение плодородия почв. Применение удобрений повышает урожайность сельскохозяйственных культур, качество растениеводческой продукции и в связи с этим агрохимия является материальной базой обеспечения человека высококачественными продуктами питания, улучшение социальных условий жизни людей на Земле.

В наше время приведено более глубокое изучение основ питания растений и методов его регулирования. Выполнены многочисленные разработки по эффективному использованию удобрений и получению сбалансированной по элементному составу сельскохозяйственной продукции.

Актуальными стали вопросы защиты окружающей среды от химического загрязнения и получения растениеводческой продукции с определенным элементным составом.

Определено влияние органических, минеральных удобрений и известкования на воспроизводство плодородия почв, на изменение ее агрохимических, агрофизических и биологических свойств, а соответственно эффективность в зависимости от уровня окультуренности и плодородия почв.

Установлены закономерности качества продукции различных сельскохозяйственных культур в зависимости от интенсивности использования агрохимических средств. Разработаны методы комплексной почвенно-растительной диагностики питания сельскохозяйственных культур и удобрениях в различных почвенно-климатических условиях.

Установлено поступление радионуклидов в растениях в зависимости от почвенных условий, агрохимических показателей на почвах загрязненных радионуклидами и тяжелыми металлами и

разработаны агрохимические мероприятия по снижению их накопления в растениеводческой продукции.

Определены потребности земледелия страны в минеральных и органических удобрениях, требования к ассортименту и качеству.

Комплексный подход к изучению влияния агрохимических средств на круговорот и баланс питательных веществ в земледелии, на плодородие и свойства почвы, продуктивность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции, экономическую их окупаемость и решение экологических аспектов химизации земледелия — важнейшая задача и необходимое условие перспективных агрохимических исследований.

Глава 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И МЕТОДЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

2.1. Химический состав растений

Растения строят свой организм из определенных химических элементов, находящихся в окружающей среде. Ткани растений состоят из воды и сухого вещества, соотношение которых у различных растений колеблется в широких пределах. Химический состав растений — содержание в них органических и минеральных веществ, а также отдельных химических элементов — выражают в процентах от массы сухих веществ (реже — в % от «сырой» массы). Используется измерение и в мг на 1 кг сухого или «сырого» вещества. Большинство сельскохозяйственных культур содержит в вегетативных органах 85–95 % воды и 5–15 % сухих веществ. В созревших семенах на сухое вещество уже приходится 85–88 %, воду — 12–15 %.

В зерне зерновых и зернобобовых культур воды содержится 12–15 %, семенах масличных культур — 7–10 %, клубнях картофеля, корнеплодах сахарной свеклы — 75–80 %, корнеплодах столовой свеклы и моркови — 85–90 %, в зеленой массе злаковых, бобовых трав — 75–85 %, в плодах томатов и огурцов — 92–96 %.

В составе сухого вещества растений 90–95 % приходится на органические соединения и 5–10 % на минеральные соли. Органические вещества представлены в растениях белками, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами и другими соединениями (табл. 2.1). Качество растениеводческой продукции определяется содержанием органических и минеральных соединений.

Таблица 2.1. Средний химический состав урожая сельскохозяйственных культур, %

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

Вид и характер использования продукции определяют ценность отдельных органических соединений в ее составе. В зерновых культурах основные вещества, определяющие их качество, — белки и крахмал. Более высоким содержанием белка у зерновых культур отличается пшеница, а крахмала — пивоваренный ячмень. Накопление белка в зерне ячменя, используемого для пивоваренного производства, должно быть регламентировано (11,0–11,5 %), поскольку его повышенное содержание ухудшает качество сырья.

Качество клубней картофеля оценивается по содержанию крахмала, сахарной свеклы — сахара. Лен возделывают для получения волокна, состоящего из клетчатки, масличные культуры (рапс, подсолнечник и др.) — масла. Качество продукции зависит также от содержания витаминов, алкалоидов, органических кислот и пектиновых веществ, эфирных и горчичных масел.

В плодовых, ягодных и овощных культурах важными показателями качества является содержание сахаров, органических кислот, витаминов и других веществ (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Среднее содержание основных веществ в овощных, плодовых и ягодных культурах, % от сырой массы

Культуры	Сахара	Органические кислоты	Азотистые вещества	Клетчатка	Зола	Аскорбиновая кислота, мг/100 г
Капуста белокочанная	4,0	0,3	1,3	0,8	0,7	30
Капуста цветная	3,0	0,1	2,5	1,2	0,8	100
Томат	3,0	0,5	0,6	0,2	0,5	30
Перец сладкий	4,0	0,2	1,5	1,0	0,7	200
Баклажан	3,0	0,2	0,9	1,0	0,5	5
Огурец	1,5	0,005	0,8	0,5	0,4	5
Лук	10,0	0,2	1,6	0,6	0,5	7
Чеснок	0,5	0,2	7,0	1,0	1,0	15
Яблоня	9,0	0,7	0,4	1,0	0,4	25
Груша	10,0	0,2	0,4	0,8	0,4	15
Виноград	18,0	0,7	0,7	0,2	0,6	6
Земляника	18,0	1,4	1,4	1,2	0,5	50
Крыжовник	7,0	2,0	0,8	2,3	0,5	35
Смородина	8,0	2,5	1,4	2,0	0,5	200
Вишня	9,0	1,8	0,9	0,2	0,5	17
Апельсин	7,0	1,4	0,9	2,5	0,7	65
Лимон	2,5	5,8	0,9	2,5	0,6	55

Накопление отдельных групп органических соединений может изменяться в зависимости от условий выращивания сельскохозяйственных культур, видовых и сортовых особенностей растений, применения удобрений. Создавая соответствующие условия питания с помощью удобрений, можно повысить урожайность и улучшить качество наиболее ценной части урожая. Усиление азотного

питания позволяет увеличить содержание белка в растениях, а повышение фосфорно-калийного питания обеспечивает большее накопление углеводов: крахмала — в клубнях картофеля, сахара — в корнеплодах сахарной свеклы.

В растениях обнаружено более 70 элементов. В среднем сухое вещество растений содержит 45 % углерода, 42 % кислорода, 6,5 % водорода, на азот и зольные элементы приходится 6,5 %.

При сжигании растительного материала органические элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, а в золе остаются преимущественно многочисленные зольные элементы, на которые приходится в среднем около 5 % массы сухого вещества.

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

Содержание других необходимых для растений элементов — бора, меди, цинка, марганца, молибдена, ванадия и кобальта — в растениях составляет от тысячных до сотысячных долей процента, и они относятся к *микроэлементам*. Элементы, содержание которых находится в еще меньших количествах, — к ультрамикроэлементам. Однако такое деление весьма условно. Например, железо по количественному содержанию следует отнести к макроэлементам, а по выполняемым функциям — к микроэлементам.

В настоящее время 20 элементов (N, P, K, S, H, Ca, Mg, O, S, Mo, Zn, Cu, B, Mn, Co, Cl, J, Na, V, Fe) относятся к необходимым, так как растения без них не могут полностью закончить цикл развития. Они не могут быть заменены другими элементами.

К *условно необходимым* относятся 12 элементов (Li, Ag, Sr, Cd, Al, Si, Ti, Pb, Cz, Se, F, Ni). В ряде опытов получены данные, что эти элементы оказывали положительное влияние на рост и развитие растений.

Потребление растениями элементов минерального питания является сложным физиологическим процессом, зависящим от биологических особенностей самого растения и условий окружающей среды. Различные направления в синтезе органических соединений в известной мере обуславливают избирательную способность растений. Из одной и той же почвы разные культуры потребляют

не только неодинаковые количества химических элементов, но и в различном их соотношении между собой (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Содержание элементов питания в сельскохозяйственных культурах, % на сухое вещество

Культуры	Элементы питания				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	2	3	4	5	6
Озимая рожь:					
зерно	1,5–1,7	0,6–0,85	0,5–0,65	0,05–0,06	0,13–0,19
солома	0,4–0,6	0,2–0,25	1,05–1,4	0,24–0,40	0,06–0,07
Озимая пшеница:					
зерно	2,0–2,5	0,7–0,9	0,5–0,6	0,05–0,08	0,15–0,19
солома	0,4–0,6	0,2–0,25	1,0–1,3	0,25–0,30	0,08–0,11
Овес:					
зерно	1,9–2,2	0,5–0,6	0,45–0,55	0,1–0,15	0,15–0,19
солома	0,4–0,6	0,2–0,3	1,68–1,85	0,3–0,4	0,08–0,12
Ячмень:					
зерно	1,5–2,0	0,6–0,8	0,5–0,6	0,06–0,08	0,13–0,18
солома	0,35–0,5	0,15–0,25	1,21–1,92	0,2–0,26	0,1–0,16
Гречиха:					
зерно	1,7–1,9	0,6–0,65	0,5–0,6	0,05–0,07	0,14–0,15
солома	0,7–0,9	0,6–0,7	2,3–2,5	0,09–0,1	0,15–0,17
Горох:					
зерно	3,5–4,5	0,9–1,1	1,0–1,2	0,08–0,1	0,12–0,14
солома	1,2–1,5	0,3–0,4	0,5–0,6	1,6–1,8	0,25–0,35
Люпин кормовой (зерно)	6,5–7,5	1,34–1,75	1,32–1,50	0,3–0,4	0,38–0,6
Клевер красный (сено)	2,0–2,5	0,6–0,7	2,1–4,0	2,68–3,24	0,3–0,46
Лен:					
семена	4,0–4,4	1,8–1,9	0,9–1,2	0,24–0,37	0,56–0,61
солома	0,3–0,4	0,3–0,4	1,0–1,3	0,5–0,6	0,25–0,26
Картофель:					
клубни	1,0–1,3	0,4–0,6	2,3–2,9	0,05–0,06	0,13–0,15
ботва	1,8–2,2	0,3–0,5	3,7–5,1	2,2–2,7	1,3–1,6
Сахарная свекла:					
корнеплоды	0,5–0,6	0,2–0,3	0,6–1,3	0,12–0,25	0,15–0,4
ботва	1,7–2,4	0,6–0,8	2,4–5,6	0,8–1,5	0,85–1,55

Семена растений богаты азотом, а корнеплоды и клубни содержат больше калия. В зерне зерновых культур по сравнению с со-

ломой больше содержится фосфора и магния. В соломе же больше накапливается калия и кальция.

На накопление элементов минерального питания в растениях влияют концентрация питательных элементов в почве, обеспеченность влагой, степень кислотности, от которой зависит как растворимость отдельных элементов, так и процесс поглощения растительной клеткой катионов и анионов, наличие в почве воздуха.

Растениеводческая продукция используется на продовольственные цели и является кормом для сельскохозяйственных животных.

Продукты питания должны быть сбалансированы по количеству белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных и других веществ.

Суточная потребность человека в белках составляет 80–100 г, жирах — 80–100 г, крахмале — 400–450 г, сахаре — 50–100 г. Необходима человеку также клетчатка, витамины и целый ряд других органических и минеральных веществ (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Потребность человека в питательных веществах

Потребляемое вещество	Суточная норма, г
1	2
Вода	1750–2200
Белки	80–100
Незаменимые аминокислоты:	
триптофан	1
лейцин	4–6
изолейцин	3–4
валин	3–4
треонин	2–3
лизин	3–5
Незаменимые аминокислоты:	
метионин	2–4
фенилаланин	2–4
Заменимые аминокислоты:	
гистидин	1,5–2,0
аргинин	5–6
цистин	2–3
тирозин	3–4
Балластные вещества (клетчатка, пектин)	25–30
Жиры	80–100
Холестерин	0,3–0,6

Окончание табл. 2.4

1	2
Фосфолипиды	5
Минеральные вещества:	
кальций	0,8–1,0
фосфор	1,0–1,5
натрий	4,0–6,0
калий	2,5–5,0
хлориды	5,0–7,0
магний	0,3–0,5
железо	0,015
цинк	0,010–0,015
марганец	0,005–0,010
хром	0,002–0,0025
медь	0,002
Витамины:	
аскорбиновая кислота	0,07–0,1
тиамин	0,0015–0,002
токоферол	0,01–0,02
рибофлавин	0,002–0,0025
ретинол	0,015–0,02
филохинон	0,002–0,003
Углеводы:	
крахмал	400–450
сахар	50–100
органические кислоты	2

Особое значение имеет содержание в белках растений незаменимых аминокислот, которые не могут синтезироваться в организме человека и животных. Это валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, гистидин, лизин, триптофан, фенилаланин.

Суточная потребность человека в лизине составляет 2–4 г, а в 100 г пшеничного хлеба содержится 0,12 г лизина. Человеку необходимы и животные белки (яйцо, мясо, молоко и др.), которые больше содержат незаменимых аминокислот.

Для оценки качества растениеводческой продукции часто используется показатель «сырой протеин», который выражает сумму всех азотистых веществ (белка и небелковых соединений). Оптимальное содержание «сырого протеина» в кормах 15 % и более. Каждая кормовая единица должна быть обеспечена 115 г переваримого протеина.

Качество зерна пшеницы оценивается также по содержанию «сырой» клейковины. «Сырая» клейковина — это белковый сгусток, который остается при отмывании водой теста, замешенного из муки. Клейковина обладает эластичностью, упругостью и связностью, от которых зависит качество выпекаемых из муки изделий.

Для стимулирования производства зерна пшеницы с повышенным содержанием клейковины 28–31 % и более 32 % установлены надбавки к закупочным ценам. Нужно иметь хотя бы 22–27 % клейковины II группы. Для макаронных изделий мука должна содержать более 18 % белка и 41 % клейковины.

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

Сахара содержатся в небольших количествах во всех сельскохозяйственных растениях, а в корнеплодах и отдельных органах овощных культур, плодах винограда, ягодах и фруктах они могут накапливаться в качестве запасных веществ.

Преобладающими моносахаридами в большинстве растений являются глюкоза и фруктоза, а олигосахаридами — дисахарид сахара.

Сладкий вкус многих плодов и ягод связан с содержанием в них глюкозы и фруктозы.

Глюкоза в значительных количествах (8–15 %) содержится в ягодах винограда, отсюда и получила название — виноградный сахар. Фруктоза, или «плодовый сахар», накапливается в больших количествах (6–10 %) в плодах косточковых культур (абрикос, слива, персик).

Сахароза — дисахарид, построенный из глюкозы и фруктозы.

Сахароза является основным запасным углеводом в корнеплодах сахарной свеклы (14–22 %) и в соке стеблей сахарного тростника (11–25 %). В ягодах и корнеплодах столовой свеклы и моркови содержится 4–8 % сахарозы.

Крахмал — высокомолекулярный полисахарид. В небольших количествах содержится во всех зеленых органах растений, но в качестве основного запасного углевода накапливается в клубнях, луковицах и семенах.

В клубнях картофеля ранних сортов содержится 10–14 % крахмала, среднеспелых и позднеспелых — 16–29 %. В расчете на сухую

массу клубней картофеля это составляет 70–80 %. Много крахмала содержится в зерне риса (78 %), пшеницы (65 %), кукурузы (66 %), ржи (68 %). Крахмал — легкоусвояемый организмом людей и животных углеводов. Это главный энергетический материал, потребляемый человеком и животными.

Клетчатка и целлюлоза — высокомолекулярный полисахарид из неразветвленной цепи глюкозных остатков. Ее усвояемость значительно ниже крахмала. Волокно хлопчатника на 95–98 %, лубяные волокна льна, конопли, джута на 80–90 % представлены клетчаткой.

В семенах пленчатых злаков (овес, рис, просо) содержится 10–15 % клетчатки, а не имеющих пленок хлебных злаков — 2–3 %, зернобобовых культур — 3–5 %, корнеплодах и клубнях картофеля — около 1 %, в грубых кормах — до 40–60 %. Оптимум содержания клетчатки для крупного рогатого скота — 22–27 %. Несмотря на то, что организм человека не усваивает клетчатку, суточная потребность в ней составляет 25 г. Она улучшает перистальтику кишечника, способствует выведению холестерина и обладает противосклеротичностью.

Жиры — запасные вещества и структурные компоненты растительных клеток. Много их накапливается в семенах масличных культур: подсолнечнике (24–50 %), рапсе (39–42 %), льне, конопле, горчице (30–35 %), клещевине (60 %), сое (20 %).

Определение количества золы необходимо для оценки общего содержания зольных элементов и характеристики качества корма. Корм, содержащий 6 % сырой золы, оценивается как оптимальный по этому показателю.

Для организма человека и животных необходимы фосфор, калий, кальций, железо, хлор и ряд микроэлементов.

Хлористый натрий имеет большое значение для поддержания осмотического давления плазмы крови. Для поддержания здоровья животных необходимо, чтобы натрия в травяных кормах содержалось не менее 0,25 %, а отношение калия к натрию было в пределах 5–8.

Фосфор и кальций входят в состав костной ткани и принимают участие в разнообразных процессах обмена веществ. Калий необходим для нормальной работы сердца, способствует выведению излишней жидкости из организма.

Оптимальное содержание фосфора в кормах составляет 0,35–0,5 %, кальция — 1 %, калия — 0,7–1,0 %. Человек должен ежедневно получать 1,0–1,5 г фосфора, 2,5–5 г калия, 4–6 г натрия, 0,8–1,0 г кальция.

Важным элементом является магний. Он обладает сосудорасширяющим и успокаивающим действием, понижает кровяное давление. Много его содержится в столовой свекле.

Важным показателем качества кормовых культур является не только содержание калия, которое в сухом веществе должно находиться в пределах оптимума от 1,2 до 2,2 %, но и соотношение

$\frac{K}{Ca + Mg}$ — в пределах 2,2. Предельно допустимое содержание калия в зеленой массе клевера составляет 3,5 % на сухое вещество. Избыточное содержание калия в пастбищных кормах может привести к заболеванию магниевой титании, характеризующейся судорожными приступами крупного рогатого скота.

Химический состав растений используется для определения выноса элементов питания (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Вынос азота, фосфора, калия, кальция, магния и серы с 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг (минеральные почвы)

Культура	Виды продукции	Элементы питания					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S*
1	2	3	4	5	6	7	8
Озимая пшеница	Зерно	2,82	1,08	1,92	0,47	0,31	0,50
Озимая рожь	То же	2,80	1,21	2,33	0,41	0,31	0,60
Яровая пшеница	»	3,04	1,16	2,47	0,32	0,24	0,60
Яровой ячмень	»	2,91	1,19	2,74	0,48	0,30	0,90
Овес	»	2,59	1,24	2,86	0,42	0,33	1,20
Гречиха	»	3,75	1,98	4,82	0,81	0,34	0,80
Просо	»	3,10	1,21	3,20	0,36	0,18	1,20
Зерновые (в среднем, без проса)	»	3,00	1,21	3,00	0,48	0,30	0,66
Люпин	»	8,43	1,99	4,40	1,88	0,85	1,42
Пелюшка	»	6,36	2,49	3,56	2,18	0,80	1,64
Горох	»	5,89	1,40	2,90	2,40	0,48	1,05
Бобы кормовые	»	7,10	1,81	3,21	2,50	0,74	1,19
Сераделла	»	7,10	1,82	3,21	2,10	0,87	1,20
Зернобобовые (в среднем)	»	6,77	1,90	3,57	2,14	0,66	1,21

Продолжение табл. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8
Лен-долгунец (волокно)	Зерно	5,81	2,29	7,30	1,50	0,78	1,60
Сахарная свекла	Корне-плоды	0,40	0,16	0,65	0,16	0,12	0,16
Кормовая свекла	То же	0,35	0,11	0,79	0,09	0,08	0,10
Кузукику	»	0,55	0,16	0,70	0,10	0,09	0,12
Морковь кормовая	»	0,30	0,10	0,40	0,09	0,08	0,10
Турнепс	»	0,50	0,15	0,60	0,08	0,07	0,20
Брюква кормовая	»	0,30	0,10	0,45	0,09	0,07	0,12
Корнеплоды (в среднем)	»	0,40	0,13	0,60	0,10	0,08	0,12
Картофель	Клубни	0,54	0,16	1,07	0,22	0,11	0,08
Кукуруза на зеленую массу	Зеленая масса	0,33	0,12	0,42	0,06	0,05	0,09
Однолетние бобово-злаковые травы	Зеленая масса	0,45	0,13	0,43	0,09	0,06	0,05
	Сено	1,74	0,54	2,59	0,46	0,29	0,25
Однолетние злаковые травы	Сено	1,39	0,55	2,54	0,69	0,28	0,25
Однолетние злаковые травы	Зеленая масса	0,28	0,11	0,51	0,14	0,06	0,05
Однолетние бобовые травы	Зеленая масса	0,46	0,12	0,40	0,35	0,09	0,06
	Сено	2,28	0,56	1,80	1,72	0,46	0,27
Многолетние бобово-злаковые травы	Сено	1,73	0,54	2,57	1,30	0,48	0,25
	Зеленая масса	0,35	0,11	0,51	0,24	0,09	0,05
Многолетние злаковые травы	Сено	1,49	0,45	2,41	0,49	0,20	0,20
	Зеленая масса	0,30	0,09	0,48	0,10	0,04	0,04
Многолетние бобовые травы	Сено	2,14	0,51	2,22	1,53	0,76	0,31
	Зеленая масса	0,43	0,10	0,44	0,30	0,15	0,06
Сенокосы	Сено	0,61	0,49	2,20	0,95	0,41	0,20
	Зеленая масса	0,32	0,10	0,44	0,20	0,08	0,04
Пастбища	Сено	1,94	0,59	2,43	1,00	0,50	0,23
	Зеленая масса	0,39	0,12	0,49	0,20	0,10	0,05
Рапс яровой	Зеленая масса	0,45	0,16	0,54	0,30	0,12	0,08

Окончание табл. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8
Рапс озимый	Зеленая масса	0,40	0,13	0,60	0,28	0,11	0,07
Редька масличная	То же	0,50	0,16	0,30	0,16	0,10	0,06
Озимая рожь	»	0,45	0,10	0,40	0,12	0,06	0,03
Озимый рапс	Семена	5,80	2,90	8,60	0,52	0,19	0,33
Яровой рапс	То же	5,50	3,00	7,00	0,51	0,20	0,35
Многолетние бобовые травы	»	26,00	6,50	20,00	1,91	0,90	0,52
Многолетние злаковые травы	»	19,00	7,00	20,00	0,41	0,35	0,60
Кукуруза	Зерно	3,00	1,20	3,30	0,50	0,31	0,61
Плодовые деревья	Плоды	0,50	0,16	0,16	—	—	—
Ягодники	Ягоды	0,91	0,30	0,96	—	—	—
Капуста	Кочаны	0,40	0,10	0,45	0,58	0,20	0,20
Томаты	Плоды	0,35	0,10	0,40	0,30	0,17	0,10
Огурцы	То же	0,30	0,14	0,40	0,15	0,10	0,07
Лук	Луковицы	0,40	0,15	0,45	0,20	0,11	0,20
Овощи (в среднем)	Товарная продукция	0,40	0,15	0,45	0,42	0,15	0,15
Зеленные овощи	То же	0,30	0,10	0,45	—	—	—
Растениеводческая продукция	К. ед.	2,10	0,80	2,20	0,81	0,43	0,45

* Значения определены расчетным путем.

Вынос питательных элементов из почвы возрастает с увеличением урожайности. В то же время при большем уровне урожайности затраты питательных элементов на формирование единицы продукции обычно снижаются.

Общая потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания характеризуется размерами биологического выноса — количеством питательных элементов во всей формирующейся биомассе растений, т. е. в надземных органах и корнях. В практических целях чаще всего потребность растений в питательных элементах характеризуется хозяйственным выносом, т. е. количеством питательных элементов, отчуждаемых из почвы с убираемым урожаем. При этом не учитывают ту часть питательных элементов, которая возвращается в почву, находясь в послеуборочных остатках и корнях. Хозяйственный вынос ниже биологического.

В табл. 2.5 приведены обобщенные данные по хозяйственному выносу элементов питания основными сельскохозяйственными культурами на минеральных почвах, из которой видно, что большинство сельскохозяйственных культур больше выносит азота, меньше калия и еще меньше фосфора. Среди зерновых культур больше азота выносит яровая и озимая пшеница. Гречиха наряду с высоким выносом азота потребляет значительно больше калия, чем зерновые колосовые культуры. Больше калия, чем азота, потребляют также картофель, сахарная и кормовая свекла.

На торфяно-болотных почвах вынос питательных элементов на единицу продукции больше, чем на минеральных почвах (табл. 2.6).

Таблица 2.6. Вынос азота, фосфора и калия с 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг (торфяные почвы)

Культура	Виды продукции	Элементы питания		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	Зерно	3,46	1,60	4,42
Озимая рожь	То же	3,31	1,67	4,79
Яровая пшеница	»	4,59	1,50	5,19
Яровой ячмень	»	4,03	1,40	4,38
Овес	»	4,00	1,64	4,26
Кукуруза	»	4,35	1,33	4,35
Смеси однолетних трав	Зеленая масса	0,57	0,13	0,50
Вико-овсяная смесь	То же	0,51	0,12	0,64
Горохо-овсяная смесь	»	0,66	0,14	0,60
Пелюшко-овсяная смесь	»	0,53	0,12	0,42
Люпиновые смеси	»	0,60	0,15	0,43
Райграс однолетний	Сено	2,00	0,70	0,40
Однолетние злаковые травы	То же	2,40	0,72	0,31

Растения потребляют элементы питания в определенных соотношениях. Если за единицу принять удельный вынос фосфора, то для зерновых соотношение между N:P₂O₅:K₂O:CaO:MgO составляет примерно 2,4:1,0:2,0:0,3:0,2.

Относительное содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции различных сельскохозяйственных культур определяется, прежде всего, их видовыми особенностями, но зависит также от сорта и условий выращивания. Содержание азота, фосфора значительно выше в хозяйственно ценной

части урожая — зерне, корне- и клубнеплодах, чем в соломе и ботве. Калия же содержится больше в соломе и ботве, чем в товарной части урожая.

Картофель, сахарная свекла, кормовые корнеплоды и силосные культуры для создания высокого урожая потребляют гораздо больше питательных элементов, чем зерновые культуры.

У картофеля и корнеплодов соотношение элементов питания резко отличается от такового в зерновых культурах и составляет соответственно 4:1:5:1:0,6 и 3,2:1:4,6:1,3:1,5.

Наиболее продуктивное использование сельскохозяйственными культурами питательных элементов из почвы и удобрений обеспечивается при наиболее благоприятных почвенно-климатических условиях, высоком уровне агротехники в сочетании с рациональным применением удобрений.

2.2. Питание растений и методы его регулирования

Питание растений — это поглощение и усвоение ими питательных элементов из окружающей среды. Различают воздушное и корневое питание растений.

Воздушное питание — это усвоение зеленым растением углекислого газа из воздуха в процессе фотосинтеза с образованием при участии воды и минеральных соединений органических веществ. Фотосинтез протекает на свету с помощью хлорофилла, содержащегося в листьях. При световой фазе фотосинтеза происходит разложение воды с выделением кислорода, богатого энергией соединения аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и восстановленных продуктов. Из этих соединений в следующей темновой фазе фотосинтеза образуются углеводы и другие органические соединения из CO_2 .

При образовании в качестве продукта фотосинтеза простых углеводов (гексоз) суммарное уравнение процесса выглядит так:



Путем дальнейших превращений из простых углеводов в растениях образуются более сложные углеводы, а также другие безазотистые органические соединения.

Аминокислоты, белки и другие органические азотсодержащие вещества в растениях синтезируются из минеральных соединений азота, фосфора и серы и промежуточных продуктов обмена (синтеза и разложения) углеводов.

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

Корневое питание — это усвоение корнями воды и минеральных элементов — азота и зольных элементов в виде ионов (катионов и анионов), а также незначительных количеств некоторых органических соединений. Так, азот может поглощаться в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ , фосфор и сера — в виде анионов фосфорной (HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2PO_4^-), и серной кислот (SO_4^{2-}), калий, кальций, магний — в виде катионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , а микроэлементы — в виде соответствующих катионов или анионов.

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

Между воздушным и корневым питанием существует тесная связь: некоторые питательные элементы могут поступать в растение как из почвы, так и из воздуха. Так, небольшое количество углекислого газа поступает в корни из почвы, а серы, азота, бора и других элементов — из водных растворов, при некорневых подкормках — через листья. Для бобовых основным источником азота является воздух.

2.2.1. Корневая система растений. Механизм корневого питания

Корень, прежде всего, является органом, закрепляющим растение в почве. Через него поступают в растение вода и растворенные в ней питательные элементы. В корнях также происходит синтез органических веществ, в частности аминокислот. Корневые системы растений развиты неодинаково и поэтому облада-

ют различной поглотительной способностью. Например, корневая система льна по сравнению с озимой рожью менее развита и у льна слабее способность усваивать питательные элементы из почвы.

Поглощать питательные элементы способна не вся корневая система. По мере старения (опробковения) корней они утрачивают эту способность. Основную массу питательных элементов поглощают молодые растущие участки корня и корневые волоски. Чем больше растущая поверхность корней, тем интенсивнее в растение поступают питательные элементы. Максимального развития корневая система обычно достигает в фазу цветения растений.

Корень является также органом, куда происходит отток органических веществ, образованных в листьях: сахара — у сахарной свеклы, крахмала — у картофеля и т. д. Кроме того, через корень могут выделяться вещества, синтезированные в растении: сахара, аминокислоты, органические кислоты, витамины, ферменты, ростовые вещества, а также небольшая часть минеральных соединений. Строение корня приведено на рис. 2.1.

При корневом питании растения поглощают корнями минеральные элементы и включают их в обмен веществ между растением и внешней средой. Поступление элементов через корни, их передвижение и усвоение тесно связаны с фотосинтезом, дыханием, другими биохимическими процессами и требуют затрат энергии. При этом растения обладают избирательной способностью поглощения элементов питания.

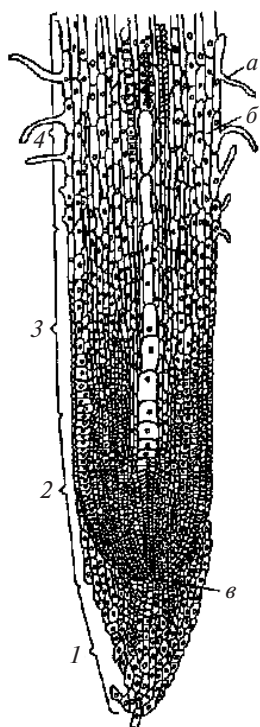


Рис. 2.1. Строение корня:

1 — корневой чехлик; 2 — зона делящихся клеток; 3 — зона растяжения клеток; 4 — зона корневых волосков; а — волоски; б — эпиблема; в — инициальные клетки

Корнями растения усваивают ионы (катионы и анионы) из почвенного раствора, а также из почвенно-поглощающего комплекса (ППК). Катионы и анионы, находящиеся в поглощенном состоянии на ППК также как ионы почвенного раствора могут обмениваться на катионы и анионы, адсорбированные на поверхности клеток корня (H^+ и NO_3^- , анионы органических кислот) и являются важным источником питания растений. Контактный обмен ионов клеточной оболочки ризодермы с ионами, находящимися на поверхности ППК, может осуществляться без перехода ионов в почвенный раствор. Тесный контакт происходит благодаря выделению слизи корневыми волосками и отсутствию кутикулы у ризодермы, так что зона поглощения корней и частицы почвы образуют как бы единую коллоидную систему. При этом азот поглощается в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ (бобовые способны усваивать из атмосферы и молекулярный азот). Фосфор и сера поглощаются в форме анионов HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} ; калий, кальций, магний, натрий, железо — в виде катионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{3+} ; микроэлементы — в виде анионов и катионов. Кроме этих элементов корни растений способны поглощать из почвы CO_2 (до 5 % от общего его потребления), а также аминокислоты, витамины, ферменты и некоторые другие растворимые органические вещества.

Корневые системы растений существенно различаются по строению, форме, распределению в почве и поглотительной способности.

Так, по данным Н. А. Качинского, масса корней в условиях черноземной зоны достигала у овса 28 % от надземной массы, красного клевера — 69, на западно-предкавказском черноземе у кукурузы — 16, озимой пшеницы — 70, люцерны — 166 % веса надземной части растения.

У большинства культурных растений корни проникают на глубину до 2 м, но их основная масса располагается в слое почвы на глубине 30–50 см. Интенсивность развития корневой системы в значительной степени зависит от обеспеченности почвы питательными элементами. В бедных почвах развивается более мощная корневая система в ущерб урожаю.

По форме корневые системы растений могут быть стержневыми или мочковатыми. Поверхность корней, поглощающая эле-

менты питания, достигает больших размеров. Например, у ячменя общая поглощающая поверхность корней и корневых волосков на одном гектаре достигает площади 200–300 га. Корень состоит из корневого чехлика, зоны деления, зоны растяжения, зоны корневых волосков (см. рис. 2.1). Наибольшей способностью к поглощению обладают корневые волоски молодых корней. На 1 мм² корня может располагаться 300–400 корневых волосков. У зерновых культур они бывают длиной 4–5 мм, у мятлика лугового — 10–12 мм. Особенности корневых систем некоторых культур приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7. Развитие корней и корневых волосков у различных культур
(П. М. Смирнов, Э. А. Муравин)

Культура	Корни		Корневые волоски		
	длина, м	поверхность, м ²	количество, млн шт.	длина, м	поверхность, м ²
Овес	4,6	316	6,3	74	3419
Рожь	6,4	503	12,5	1549	7677
Соя	2,9	406	6,1	60	277
Мятлик луговой	38,4	2129	51,6	5166	15806

Корневые волоски обычно живут несколько суток и по мере старения отмирают. Корни не только поглощают питательные элементы из почвы, в них происходит также синтез органических соединений (аминокислот, белков), которые используются самой корневой системой и частично поступают в надземную часть растения.

Строение растительной клетки, обмен веществ в ней подробно рассматриваются в курсе «Физиология растений». Поэтому остановимся только на механизме поступления и передвижения питательных элементов в растениях.

Движение питательных элементов можно разделить на три этапа: переход ионов из твердой части почвы в почвенный раствор и передвижение их к поверхности корней; проникновение ионов через цитоплазматическую мембрану в клетку корня и передвижение их по корням в надземные органы растений.

Скорость передвижения питательных элементов в почве зависит от свойств почвы и поглощаемых ионов.

К корням растений ионы питательных элементов поступают либо с потоком воды, либо диффузионно, т. е. благодаря проникновению молекул одного вещества в другое при непосредственном соприкосновении (или через пористую перегородку), обусловленному тепловым движением молекул. Установлено, что при высокой насыщенности почвенного раствора они поступают к корням с потоком раствора, при низкой насыщенности почвенного раствора ионами и высокой потребности в них растений ионы передвигаются к корням диффузией. Фосфор и калий доставляются к растениям в основном диффузией, а кальций и магний — с током почвенного раствора. Нитраты передвигаются в почве быстрее, чем фосфаты, и поглощаются интенсивнее: если фосфаты поглощаются в радиусе 0,1 см от корня, то нитраты — в радиусе 1 см.

Известно несколько этапов поступления элементов питания в растения.

1. Обогащение ионами свободного пространства анопласта за счет обменной адсорбции, диффузии, пассивной физико-химической адсорбции.

2. Преодоление ионами мембранного барьера и их переход в симпласт.

3. Радиальное передвижение ионов по тканям корня и сосудисто-волокнистым пучкам.

4. Включение ионов в метаболизм.

5. Вертикальное передвижение ионов по стеблям, черешкам и жилкам листьев.

6. Поступление в фотосинтезирующие клетки, утилизация и реутилизация, отток.

7. Транспорт ассимилятов и ионов вниз по флоэме в корни.

Проникновение ионов с поверхности корня в клетки может происходить по-разному.

Питательные элементы в растительную клетку поступают через цитоплазматическую мембрану, или плазмалемму. Цитоплазматическая мембрана состоит из двух слоев фосфолипидов, которые имеют полярные «головки» — гидрофильные группы и неполярные «хвосты» — гидрофобные группы. В определенных участках плазмалеммы встроены белки-переносчики. Из белков построены поры и каналы в мембране. Часть белков представлена ферментами. У различных организмов строение и состав мембраны, или

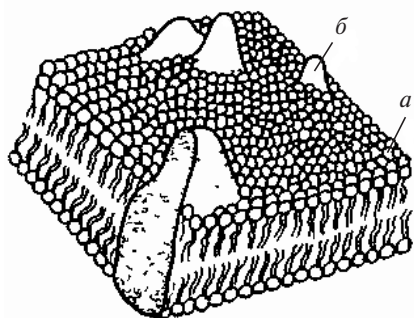


Рис. 2.2. Мозаичная модель клеточной мембраны:
а — липиды; б — белки

плазмалеммы, неодинаковы. Даже в одной клетке мембраны бывают различные: цитоплазматические, вакулярные, хлоропластные и др. На рис. 2.2 представлена одна из моделей мембраны.

Мембрана очень динамична. Она может изгибаться, разрываться и снова соединяться; на поверхности она несет заряды, которые могут изменяться, что обеспечивает проникнове-

ние в клетку катионов и анионов; через поры, каналы (плазмодесмы) мембраны проникают вода и ионы; проницаемость мембраны зависит от генетических свойств клетки и внешних условий. Изменение зарядов на цитоплазме клетки происходит благодаря белковым веществам, которые по своей природе амфотерны. Растения предпочитают брать пищу из почвенного раствора слабой концентрации. Для нормального их развития достаточно, если в 1 л содержится по 20–30 мг азота и калия, 10–15 мг фосфора, 1–2 мг бора и 5–7 мг марганца.

Положительно заряженные участки мембраны имеют группы H^+ , а отрицательно — OH^- , которые способны обмениваться на анионы и катионы почвенного раствора. Обмен связан не только с амфотерными свойствами белков цитоплазмы, но и с процессами дыхания. Выделяемая при этом корнями H_2CO_3 распадается на H^+ и HCO_3^- . Обменным фондом служат также органические кислоты, образующиеся в растениях и выделяемые на поверхность клетки. Наконец, процессы обмена катионов и анионов между корнями и почвенными коллоидами происходят при физико-химическом обмене (поглощении).

В процессе поступления питательных элементов в растение большую роль играет микориза почвенных грибов, которая окружает в виде слизи корни и корневые волоски. По данным Е. Ф. Березовой, в 1 г почвы, примыкающей к корням картофеля, насчитывалось $3 \cdot 10^8$ бактерий, а на расстоянии 1 см — уже $3 \cdot 10^6$. Адсорбированные на поверхности протоплазмы мембраны пита-

тельные элементы, передвигаясь по порам и каналам, проникают через мезоплазму во внутренний слой цитоплазмы.

В последние годы принято считать, что передвижение ионов с поверхности клетки происходит двумя способами — пассивным и активным. Пассивный перенос совершается по электрохимическому градиенту. В этом случае затрачивается энергия диффузии, свободная поверхностная и солнечная, расходуемая на фотосинтез и осмос.

Активный перенос происходит против электрохимического градиента с использованием метаболической энергии АТФ. Электрохимический градиент — это сумма двух величин — разницы электрических потенциалов клетки и внешней среды и разности концентраций солей в клетке и почвенном растворе. Соотношение способов передвижения ионов зависит от условий питания растений.

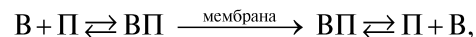
Ионы могут передвигаться и по так называемому свободному пространству, которое находится в рыхлой первичной оболочке клеточных стенок вне протопласта, снаружи от плазмалеммы, и составляет 4–6 % от общего объема клетки. Целлюлозные оболочки клеток свободного пространства образуют систему сосудов, которая называется апопластом. Благодаря апопласту ионы могут передвигаться по межклеточному пространству от корневого волоска до кончика листа растения. Физиологи считают, что поступление ионов по апопластическому пути в нормальных условиях питания незначительно и усиливается при локальном внесении удобрений.

Основной путь передвижения ионов — через клеточную мембрану (плазмалемму), т. е. от клетки к клетке, происходит через плазмодесмы. Такой путь по симпласту называется симпластическим. Этим путем передвигаются ионы, аминокислоты, сахара и др.

Механизм передвижения ионов и молекул с внешней поверхности мембраны на внутреннюю ее сторону в настоящее время описывает несколько теорий.

Теория переносчиков и ионные насосы. Ионы поступают через мембрану не в свободном виде, а в комплексе с молекулами переносчиков. На внутренней стороне мембраны переносчик отделяется от иона и возвращается обратно. Так могут передвигаться не только ионы, но и образовавшиеся вещества — сахара, аминокис-

лоты. В качестве переносчиков прежде всего выступают ферменты различного типа, в частности АТФ-аза. Транспорт ионов и веществ можно изобразить следующей схемой:



где В — вещество; П — переносчик; ВП — комплекс вещества с переносчиком.

При пассивном поступлении питательных веществ в клетку основным механизмом переноса через мембраны является диффузия. Этот процесс зависит от растворимости веществ в липидной фазе мембраны. Вещества, которые растворяются в липидах, легче проходят через мембраны. Однако большинство важных для питания веществ нерастворимо в липидах и преодолевает плазмолемму с помощью мембранных транспортных белков.

Существует два типа мембранных белков: белки-переносчики и каналообразующие белки.

Белок-переносчик имеет специальный участок для связывания транспортируемого вещества. Он соединяется с переносимым веществом по принципу комплементарности (от лат. *complementum* — дополнение), благодаря пространственному соотношению поверхностей взаимодействующих частей. Можно представить, что переносимое вещество подходит к белку-переносчику, как ключ к замку.

Вначале подход к связывающему участку открыт с наружной стороны цитоплазматической мембраны. Молекула или ион подходит к этому участку и связывается с ним. Затем конформация белка-переносчика изменяется и подход к связывающему участку открывается с другой стороны мембраны. Молекула или ион переносимого вещества отделяется от связывающего участка переносчика и оказывается на другой стороне мембраны.

Белки-переносчика транспортируют вещества через мембрану, как по электрохимическому градиенту, так и против него. Транспорт по электрохимическому градиенту с помощью переносчиков называют *облегченной диффузией*.

Роль белков-переносчиков могут выполнять специальные белки, которые для конформационных изменений используют энергию АТФ. Необходимая энергия высвобождается при гидролизе

АТФ с помощью фермента аденозинтрифосфатазы (АТФ-азы). Такие белки получили название *ионных насосов*. Переносчиками могут быть и сами АТФ-азы. Они располагаются в мембране и катализируют гидролиз АТФ до АДФ и H_3PO_4 . Высвобождаемая энергия используется для транспорта протонов через мембрану, в результате на ней возникает разность электрохимических потенциалов. Разность электрических потенциалов обеспечивает движение в клетку катионов. Концентрационный градиент протонов обуславливает их транспорт обратно в клетку с помощью переносчиков. Одновременно с ним в том же направлении могут транспортироваться анионы, сахара, аминокислоты (симпорт), а в противоположном направлении катионы (антипорт).

Переносчиками ионов могут быть белковые глобулы, размер которых больше толщины клеточной мембраны. Глобула способна вращаться вокруг своей оси, перемещая при этом ионы с наружной стороны мембраны на внутреннюю. Такой перенос ионов происходит под влиянием АТФ-азы. В настоящее время установлено существование калиево-натриевого насоса.

Механизм действия калий-натриевого насоса заключается в том, что специфический фермент калий-натриевая АТФ-аза осуществляет выкачивание из клеток ионов Na^+ и вхождение ионов K^+ . Свое название АТФ-азы получили в связи с присущей им способностью расщеплять АТФ. Освобождаемая энергия используется для транспорта веществ, а транспортная АТФ-аза обратимо фосфорилируется параллельно с фосфорилированием и дефосфорилированием транспортной АТФ-азы, осуществляя связывание и освобождение иона. Одновременно происходят конформационные изменения АТФ-азы — изменения пространственной конфигурации белковой молекулы за счет дисульфидных, водородных и ионных связей и гидрофобных взаимодействий полипептидной цепочки, позволяющие осуществлять перенос ионов внутрь клетки.

Установлено также существование в клетках протонного насоса, который выкачивает из клеток ионы H^+ , вместо которых поступают другие ионы. Выкачивание из клеток ионов H^+ (антипорт) создает отрицательный заряд клеток и доставляет внутрь клетки для сохранения электронейтральности ион с тем же знаком, например калия.

Закачивание в клетку по электрохимическому градиенту протонным насосом протона и какого-либо дополнительного «седока» (фосфора и др.) называют симпортом. Таким образом, АТФ-зависимый мембранный H^+ насос служит универсальным энергетическим приводом к ионным потокам на плазмолемме растительных клеток.

Транспорт веществ внутрь клетки через цитоплазматические мембраны может идти с помощью имеющихся в плазмолемме каналов.

Каналообразующие белки пронизывают липидный бислой мембран. Наружная часть этих белков — гидрофобна, в внутренняя — гидрофильна. Поэтому переносимое вещество проходит через мембрану по гидрофильной части белковой молекулы, не контактируя с гидрофобной фазой мембраны. Почти все каналы служат для транспорта ионов, поэтому их называют ионными каналами. В настоящее время известно около 50 видов таких каналов. Наиболее распространенными являются каналы, по которым через мембраны транспортируются ионы калия и кальция. При этом транспорт происходит пассивным путем по электрохимическому градиенту.

Кроме рассмотренной выше современной теории предложены такие как теория пиноцитоза и электрохимическая теория.

Теория пиноцитоза. Мембрана способна передвигаться в клетке. Благодаря этому клетки могут поглощать твердые частицы и капли, плавающие в окружающей среде. Поглощение, «заглатывание» твердых частиц называется фагоцитозом, жидких — пиноцитозом. Эти процессы происходят следующим образом. Частица, адсорбированная на клеточной мембране, втягивается внутрь. При этом образуется пиноцитарный пузырек, который отрывается от мембраны и передвигается в клетку. В клетке оболочка пузырька разрушается ферментом, и частица поступает в цитоплазму. Пиноцитоз происходит с затратой энергии в виде АТФ. Пиноцитоз может быть обратным, когда из клетки наружу выводятся вредные вещества.

Электрохимическая теория. Она состоит в том, что распределение ионов между внешней средой и клеткой обусловлено не только концентрацией, но и разностью электрических потенциалов на мембране.

Из корневых клеток вода, минеральные и органические вещества передвигаются (транспортируются) восходящим током к верхушкам побегов по сосудам и трахеидам ксилемы. Движущей силой в этом транспорте являются корневое давление и транспирация.

Ассимилянты из листьев транспортируются нисходящим током по ситовидным трубкам флоэмы. Загрузка ксилемы в корнях и флоэмных окончаний в листьях, верхушках побегов осуществляется благодаря деятельности мембранных насосов (Н-помп). Движение веществ по ксилеме и флоэме связано с затратами энергии дыхания и поэтому зависит от обеспеченности кислородом.

Ионы или молекулы, поступившие в клетку, могут оказаться в составе органических веществ в клетке; избыточные ионы концентрируются в вакуолях клетки, создавая таким образом запас ионов; передвигаться по сосудам ксилемы и ситовидным трубкам флоэмы; могут быть снова выведены из растения во внешнюю среду.

Все процессы, связанные с питанием растений, проходят при непосредственном участии ферментов. При этом ведущая роль принадлежит протеазам.

Главенствующую роль в потреблении элементов питания играют биологические особенности видов растений, а также генетические свойства сортов, полученных в результате селекционной работы, направленной на создание популяций, устойчивых к неблагоприятным условиям, отличающихся высокой урожайностью, повышенным содержанием белка, крахмала, сахара и других органических веществ, характеризующих качество урожая.

Многочисленными исследованиями установлено, что получить максимальный, генетически обусловленный уровень урожайности даже на высококультурных почвах можно только при направленном регулировании питания растений с учетом законов формирования урожая, требований культуры, особенностей сорта. Процессом питания растений управляют путем дифференциации форм, доз, сроков, периодичности и способов внесения органических и минеральных удобрений с учетом биологических, физиологических особенностей растений, с одной стороны, и закономерностей взаимодействия факторов внешней среды — с другой.

2.2.2. Избирательное поглощение ионов растениями, физиологическая реакция солей (удобрений)

Известно, что растения поглощают питательные элементы не в том соотношении, в каком они находятся в почве, а в количестве, нужном для их жизненных процессов, т. е. растения обладают избирательной способностью поглощения. Например, при внесении в почву сернокислого аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ растения будут интенсивнее и в больших количествах поглощать (в обмен на ионы водорода) катионы NH_4^+ , поскольку они используются для синтеза аминокислот, а затем белков, а ионы SO_4^{2-} нужны растениям в значительно меньшем количестве и поэтому будут меньше поглощаться. В почвенном растворе в этом случае будут накапливаться ионы H^+ и SO_4^{2-} (серная кислота), произойдет его подкисление. При внесении натриевой селитры (NaNO_3) растения будут больше и быстрее поглощать анионы NO_3^- в обмен на анионы HCO_3^- . В растворе будут накапливаться ионы Na^+ и HCO_3^- (NaHCO_3), произойдет его подщелачивание.

Избирательное поглощение растениями катионов и анионов из солей обуславливает их физиологическую кислотность или физиологическую щелочность. Соли, из которых в больших количествах поглощается анион, чем катион (NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), и происходит подщелачивание раствора, являются физиологически щелочными. Соли, из которых катион поглощается растениями в больших количествах, чем анион (NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, KCl , K_2SO_4), и происходит подкисление раствора, являются физиологически кислыми.

Преимущественное использование растениями аммонийного или нитратного азота из аммиачной селитры зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются биологические особенности культуры, обеспеченность ее углеводами, реакция среды, количество кальция, калия, фосфора и других элементов питания, в том числе микроэлементов. Карбамид, содержащий азот в амидной форме $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$, под действием уробактерий, аммонифицируется с образованием — углекислого аммония $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)$. Образовавшийся углекислый аммоний постепенно нитрифицируется и подкисляет почву. Подкисление почвы возможно также за счет избирательного поглощения растениями ионов аммония

после аммонификации. В связи с этим карбамид биологически и физиологически кислое удобрение. Физиологическая кислотность аммиачной селитры слабее, чем чисто аммонийных солей, но сильнее чем хлористого калия. Так, для нейтрализации физиологической кислотности 1 ц хлористого аммония (NH_4Cl) требуется 1,4 ц/га CaCO_3 , 1 ц сернокислого аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ — 1,3 ц CaCO_3 , 1 ц карбамида $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ — 0,8 ц CaCO_3 , 1 ц аммиачной селитры (NH_4NO_3) — 0,75 ц CaCO_3 , 1 ц хлористого калия (KCl) — 0,5 ц CaCO_3 .

Физиологическую реакцию солей, используемых в качестве минеральных удобрений, обязательно нужно учитывать, чтобы не допустить ухудшения условий роста и развития сельскохозяйственных культур.

2.2.3. Влияние условий внешней среды и микроорганизмов на поглощение растениями питательных элементов

Поглощение растениями питательных элементов зависит от свойств почвы, ее водно-воздушного и теплового режимов, освещенности и других условий внешней среды. Особенно сильное влияние на поступление питательных элементов в растение оказывают реакция почвенного раствора, его концентрация и соотношение в нем солей.

Растения способны усваивать питательные элементы из почвенного раствора при невысокой их концентрации: от 0,01–0,05 до 0,1–0,2 %. При концентрации выше 0,2 % поглощение растениями воды и элементов питания резко замедляется, что приводит к их завяданию (плазмолизу клеток). Это наблюдается на засоленных почвах. Лучше усваиваются элементы питания из растворов умеренно повышенных концентраций. Чувствительность к концентрации почвенного раствора у разных растений неодинакова. Наиболее чувствительны к концентрированным растворам лен, люпин, огурцы, морковь, а также большинство молодых растений.

Важнейшее условие нормального питания растений — это оптимальное соотношение в почвенном растворе питательных элементов, т. е. соотношение катионов и анионов. Оно должно полностью отвечать потребностям конкретного растения. Такой раствор называется физиологически уравновешенным. Опытами

установлено, что, когда в растворе преобладают какие-либо одни ионы над другими, создаются неблагоприятные условия для питания растений. Например, высокая концентрация кальция сдерживает поступление в растение калия. Такое явление наблюдается при известковании кислых почв и называется антагонизмом. Между анионами антагонизм проявляется слабее. Антагонизм сильнее между анионами, обладающими близкими химическими свойствами, например, между SO_4^{2-} , SeO_4^{2-} . Нет антагонизма между NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , но он возникает между анионами с одинаковыми зарядами, например, между NO_3^- и H_2PO_4^- , Cl^- и HPO_4^{2-} . Наряду с антагонизмом происходят процессы синергизма: ионы с противоположными зарядами могут активизировать поступление друг друга в растение, например, NH_4^+ и PO_4^{3-} , K^+ и SO_4^{2-} , Ca^{2+} и NO_3^- и т. д.

Существенное значение для нормального питания растений имеет реакция почвенного раствора. Для большинства растений оптимальной реакцией почвы считается слабокислая и близкая к нейтральной, с рН солевой вытяжки 5,5–6,5. Однако есть растения, которые лучше растут на почвах с кислой (люпин) или слабощелочной (люцерна) реакцией среды. При повышенной кислотности почвенного раствора ухудшается развитие корневой системы, снижается поглощение питательных элементов, особенно кальция и магния, подавляется синтез белков и сахаров. При щелочной реакции затрудняется поступление анионов (например, фосфорной кислоты), но усиливается усвоение катионов.

Большую роль в питании растений играет корневая система. Она выделяет в почву угольную кислоту и некоторые органические кислоты, а также ферменты и другие вещества. Под влиянием корневых выделений элементы питания из труднодоступных соединений переходят в легкодоступную форму, в результате чего улучшается питание растений фосфором, калием, кальцием и другими элементами.

Влажность почвы также имеет важное значение для поступления питательных элементов в растение и его нормального развития. Прежде всего, вода является средой, в которой происходит диффузия ионов из почвенного раствора и почвенного поглощающего комплекса к корням растений. При оптимальном увлажнении увеличивается поступление питательных элементов

в растение, при недостатке влаги — уменьшается. Избыточное увлажнение почвы отрицательно сказывается на развитии растений: усиливается поступление токсичных закисных соединений железа, марганца и уменьшается — кислорода. Вода необходима для фотосинтеза. Около 0,2 % поглощаемой растением воды расходуется на образование органических веществ, свыше 99 % ее испаряется при транспирации, при этом происходит охлаждение надземной части растения и передвижение питательных элементов по сосудам.

Расход воды на создание урожая существенно уменьшается при внесении удобрений. По данным Д. Н. Прянишникова, расход воды растением на образование сухого вещества на удобренном фоне был ниже в зависимости от влажности почвы на 20–30 %.

Важное значение в питании растений имеет воздушный режим (аэрация). Воздух необходим, прежде всего, для дыхания растений. При его недостатке нарушается питание растений. Для большинства сельскохозяйственных культур достаточным является содержание в почвенном воздухе 8–12 % кислорода. При уменьшении его содержания растения угнетаются, а при содержании менее 5 % — погибают. При недостатке кислорода в почве образуется больше восстановленных форм железа и других элементов, вредных для растений, увеличивается содержание углекислого газа, а это снижает поглощение корнями азота, фосфора и ионов аммония, а также деятельность аэробных микроорганизмов.

Воздушный режим почвы во многом определяется ее структурой, а также качеством обработки, придающей ей рыхлое состояние.

На питание растений большое влияние оказывает температура почвы. Корни растений при пониженной температуре плохо развиваются и слабо усваивают питательные элементы и воду. Поступление элементов питания усиливается с повышением температуры почвы от 10 до 25 °С. При понижении температуры ниже 10 °С снижается поступление в растение, прежде всего, азота и фосфора. Поэтому азотные подкормки озимых культур целесообразно проводить весной при достижении температуры 5–7 °С. Невысокая температура почвы меньше сказывается на поступлении калия в растения. С другой стороны, на поступление питательных элементов (например, фосфора) отрицательно

влияет чрезмерно высокая температура, что, очевидно, обусловлено снижением активности ферментативных систем. Считается, что оптимальная температура для поступления в растения азота, фосфора и калия — 23–25 °С, критической для поступления основных элементов минерального питания является температура около 5–6 °С.

Интенсивность поглощения растением питательных элементов тесно связана с освещенностью. В процессе фотосинтеза растение усваивает солнечную энергию, это усиливает поглощение питательных элементов из почвы. Например, опытами установлено, что поглощение калия, кальция и фосфора растением в дневное время происходит в полтора-два раза интенсивнее, чем ночью. Даже усвоение корнями углекислого газа из почвы днем идет интенсивнее, чем в ночное время. Затенение растений в посевах, чрезмерное их загущение снижают интенсивность фотосинтеза и дыхания, а следовательно, урожайность.

В питании растений огромное значение имеют микроорганизмы, прежде всего те, которые поселяются на корнях или непосредственно около них, т. е. в ризосфере. Ризосферные микроорганизмы, используя в качестве пищи и энергетического материала выделения корней, вместе с другими почвенными микроорганизмами играют важную роль в превращении органического вещества почвы и органических удобрений в усвояемые растениями формы. Некоторые виды микроорганизмов способны также разлагать труднорастворимые минеральные соединения фосфора и калия, делая их доступными для растений. Кроме того, в почве есть бактерии (клубеньковые, свободноживущие, ризосферные), которые усваивают молекулярный азот воздуха, и он также становится доступным для растений. Наконец, с жизнедеятельностью микроорганизмов тесно связано образование гумуса.

Однако микроорганизмы могут и ухудшать условия питания растений, так как у них одни и те же источники питания — азот и зольные элементы почвы. Микроорганизмы становятся конкурентами растений в использовании питательных элементов. Например, при использовании соломы или плохо разложившегося соломистого навоза в качестве удобрения в почве создаются большие запасы энергетического материала (что очень благоприятно для бактерий), но мало азота. Из-за потребления азота микрооргани-

змами растения ощущают недостаток в нем, а иногда и в фосфоре. А в итоге урожайность культуры может снижаться. Правда, закрепление азота микроорганизмами носит временный характер: после их отмирания азот высвобождается и вновь становится доступным растениям.

В почве есть также бактерии-денитрификаторы, которые превращают нитраты (NO_3^-) в закисные формы (N_2O) и молекулярный азот (N_2), который улетучивается из почвы в атмосферу. Кроме того, некоторые почвенные микроорганизмы вызывают болезни растений.

2.2.4. Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста

Растения в разные периоды роста предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания. Поглощение растениями азота, фосфора, калия и других питательных элементов в течение вегетации происходит неравномерно. В связи с этим различают критический и максимальный периоды питания.

Рассмотрим общие закономерности в потреблении питательных элементов растениями в течение вегетации. В начальный период развития растения потребляют относительно небольшое количество питательных элементов, но весьма чувствительны как к недостатку, так и избытку их в растворе.

Начальный период роста — критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в начальный период роста настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды.

Вследствие высокой напряженности синтетических процессов при слаборазвитой еще корневой системе молодые растения особенно требовательны к условиям питания. Следовательно, в прикорневой зоне в этот период питательные элементы должны находиться в легкодоступной форме, но концентрация их не должна быть высокой, а фосфор должен преобладать по сравнению с азотом и калием. Обеспечение достаточного уровня снабжения всеми элементами с начала вегетации имеет важное значение для формирования урожая. Так, у зерновых уже в период разветвления

первых трех-четырёх листьев начинаются закладка и дифференция репродуктивных органов — колоса или метелки. Недостаток азота в этот период даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

Максимальный период потребления растениями питательных элементов обычно совпадает с периодом интенсивного роста стеблей, листьев. В это время растения особенно много потребляют азота. Недостаток азота в этот период приводит к угнетению роста, а в дальнейшем — к снижению урожая и его качества. Ко времени цветения и плодообразования потребность в азоте у большинства растений уменьшается, но возрастает роль фосфора и калия — они участвуют в синтезе и передвижении органических веществ в растении, например, аминокислот — в зерно, сахара — в корни корнеплодов и т. д.

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

Различные сельскохозяйственные культуры отличаются количеством и интенсивностью поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода. Все зерновые, лен, ранний картофель, некоторые овощные культуры отличаются коротким периодом интенсивного питания, основное количество питательных элементов они потребляют в сжатые сроки. Например, яровая пшеница за сравнительно короткий промежуток — от выхода в трубку до конца колошения — потребляет 65–75 % всех элементов питания. У льна ярко выраженный период максимального потребления элементов питания — от фазы бутонизации до цветения.

Для кукурузы, сахарной свеклы и некоторых других растений характерно более плавное, растянутое потребление питательных элементов, поглощение их они продолжают почти до конца вегетации.

Элементы поглощаются растениями с различной интенсивностью. Так, зерновые в большем количестве потребляют азот и

менее интенсивно — калий и фосфор. Свекла в период нарастания листьев больше поглощает азота, а когда в корнях происходит образование сахара — калия. Кукуруза наиболее интенсивно потребляет калий, затем — азот и значительно медленнее — фосфор. Поглощение калия полностью заканчивается к периоду образования метелок, а азота — к периоду формирования зерна. Поступление фосфора более растянуто и продолжается почти до конца вегетации.

Неодинаковая потребность в элементах питания и интенсивность их поглощения в течение вегетационного периода должны учитываться при разработке системы удобрения. Для этого используются различные приемы внесения удобрений: основное (до посева), припосевное (во время сева) и проведение подкормок.

Цель основного внесения удобрений — обеспечить растения элементами питания на всю вегетацию, поэтому до посева в большинстве случаев вносят полную дозу органических удобрений и большую часть минеральных. Припосевное удобрение (в рядки, при посадке — в лунки, гнезда) вносят, чтобы обеспечить растения в начальный период развития легкодоступными формами питательных элементов, прежде всего фосфором. Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации в дополнение к основному и припосевному удобрению проводят подкормки. Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит от особенностей биологии растений, климатических условий, вида и формы удобрения.

Регулируя условия питания растений по периодам роста, внесением удобрений можно направленно воздействовать на величину урожая и его качество.

2.3. Диагностика питания растений

2.3.1. Значение и виды диагностики питания растений

Рационально использовать удобрения помогает диагностика питания растений, дающая информацию об обеспеченности посевов питательными элементами. С ее помощью можно управлять минеральным питанием сельскохозяйственных культур. Особенно важна диагностика минерального питания при возделывании сель-

скохозяйственных культур по интенсивным технологиям, которые предусматривают более высокие по сравнению с обычными дозы удобрений и требуют очень тщательного контроля за питанием растений за время вегетации.

Наиболее высокую отдачу от удобрений можно получить при комплексной диагностике, которая включает почвенную, растительную и метеорологическую и позволяет более точно установить уровень минерального питания на различных этапах органогенеза, или фенофаз растений. В настоящее время стала использоваться дистанционная диагностика.

Почвенная диагностика — это агрохимическое обследование почв с целью определения содержания подвижных форм фосфора, калия, минерального или усвояемого азота (минеральный + легко-гидролизуемый), подвижных форм микроэлементов и т. д.

Метеорологическая диагностика позволяет прогнозировать эффективность удобрений с учетом количества выпавших осадков и содержания в почве продуктивной влаги.

Широко используется диагностика минерального питания зерновых культур, плодовых и овощных (особенно защищенного грунта).

В Беларуси для определения состояния азотного питания зерновых широко применяется почвенно-растительная диагностика. Диагностирование посевов сахарной свеклы, кукурузы, других культур из-за несовершенства методик широкого распространения на практике не получило, ведутся работы по усовершенствованию диагностики питания этих культур. Большой вклад в развитие диагностики питания растений внесли Д. Н. Сабинин, В. В. Церлинг, К. П. Магницкий и др. ученые.

Дистанционная диагностика основана на принципе установления качественных характеристик, отражаемых или изучаемых всеми наземными объектами количеств энергии, которая регистрируется при помощи летательных аппаратов и передается в виде фотоизображения, электро- и радиосигналов. Дистанционную диагностику можно проводить путем спектрометрирования, аэрофотосъемки, тепловой съемки, микроволновой съемки с использованием оптических приборов, многозональных фотоаппаратов, телекамер, многоспектральных датчиков, термодатчиков и другой аппаратуры.

Растительная диагностика может быть визуальной и химической (тканевой и листовой). Визуальная диагностика растений позволяет по внешнему виду посевов судить о недостатке или избытке тех или иных питательных элементов. Так, уже отмечалось, что при недостатке азота замедляется рост растений и их отдельных органов (листьев), растения становятся светло-зелеными (прежде всего нижние листья), а при сильном азотном голодании листья окрашиваются в желто-зеленый или желтый цвет, ускоряется созревание растений, они заболевают хлорозом. При раннем проявлении признаков азотного голодания проводят подкормку азотными удобрениями (аммонийная селитра и др.), в более поздние сроки применяют некорневые подкормки (КАС, мочевиной).

При недостатке фосфора растения хуже растут, листья становятся темно-зелеными с голубым оттенком, появляются бурые и фиолетовые пятна, на месте которых впоследствии образуются некрозы. Признаки фосфорного голодания чаще становятся заметны в холодную погоду, сначала на старых, а затем и молодых листьях. У зерновых при недостатке фосфора стебель становится грубым, уменьшается количество зерен в колосе, замедляется созревание. При появлении признаков фосфорного голодания посевы подкармливают фосфорными удобрениями.

Признаки калийного голодания сходны с признаками азотного, но при недостатке калия поражаются только края листьев, а в центре они остаются зелеными. Края листьев желтеют, буреют и засыхают («краевые ожоги»). При недостатке калия клетки растут неравномерно, что является причиной гофрированности, куполообразной формы листьев. У картофеля на листьях появляется характерный бронзовый налет. Недостаток калия визуально становится заметен обычно в середине вегетации, когда подкормки уже малоэффективны.

При нехватке кальция старые нижние листья желтеют и отмирают, а у верхних белеет кончик, плоды поражаются гнилями, корни ослизняются и загнивают.

Острый дефицит магния вызывает «мраморность» листьев. При недостатке железа, характерном для карбонатных или переувлажненных почв, вследствие нарушения образования хлорофилла развивается хлороз: листья теряют зеленую окраску, белеют и

преждевременно опадают. Характерные признаки борного голодания — хлороз и отмирание точек роста. При дефиците бора лен поражается бактериозом, корнеплоды — сухой гнилью, дуплистостью и гнилью сердечка. Недостаток марганца выражается в появлении на верхних листьях хлоротичных пятен разных тонов (светло-зеленых, бело-зеленых, красно-серых). Обесцвеченные участки плодовых листьев буреют и отмирают. Развивается пятнистость.

При нехватке меди также наблюдается хлороз, замедляется рост и задерживается цветение растений. У зерновых при остром дефиците меди белеют кончики листьев («болезнь обработки», или «белая чума»), колос не развивается, у плодовых развивается суховершинность.

Внешние признаки недостатка молибдена у бобовых культур сходны с признаками азотного голодания — листья светло-зеленого цвета, деформируются и отмирают. У большей части культур при дефиците молибдена развивается желтая пятнистость листьев, у огурца — хлороз на краях листьев. Растения чаще ощущают недостаток молибдена на кислых почвах. Наиболее ярко он проявляется на посевах клевера, цветной капусты, томатов. Признаки недостатка цинка — хлороз листьев и последующее их отмирание, розеточность (яблоня, вишня, айва) или мелколиственность (томаты). Листья растут неравномерно, асимметричными, с волнистыми краями. От недостатка цинка чаще всего страдают плодовые культуры на нейтральных и слабощелочных почвах с высоким содержанием фосфора. При появлении признаков недостатка микроэлементов проводят некорневые подкормки растений.

Одним из основных признаков, по которым можно визуально диагностировать состояние посевов, является цвет листьев и стеблей. В табл. 2.8 приведена наиболее характерная окраска растений при недостатке того или иного элемента питания. Следует помнить, что аналогичные признаки появляются при повреждении растений болезнями, вредителями, в неблагоприятных метеорологических условиях, а также при плохих физико-химических свойствах почвы. Кроме того, внешние признаки недостаточности питания иногда становятся заметны слишком поздно, когда внесением удобрений уже нельзя восстановить нормальное состояние и продуктивность растений. Поэтому визуальная диагностика должна подкрепляться другими методами обследования растений.

Таблица 2.8. Цвет растений как признак недостатка питательных элементов

Цвет растений	Культура	Фаза роста и развития	Потребность в питательных элементах
Желтый	Зерновые озимые и яровые	Всходы—кущение	Калий
Желтый	Лен	Всходы, фаза елочка	Калий
Светло-зеленый	Яровые зерновые, лен	Кущение, выход в трубку, елочка	Медь
Светло-зеленый	Яровые зерновые, лен	Фаза кушения, елочка	Азот
Палевый	Лен	Елочка	Бор
Оливково-зеленый	Картофель	Бутонизация	Фосфор, калий
Темно-зеленый с голубоватым оттенком	Сахарная свекла	6–8 листьев	Фосфор
Зеленовато-желтый с коричневым оттенком	Сахарная свекла	6–8 листьев	Калий
Красно-фиолетовый	Озимые зерновые	Фаза трех листьев, начало кушения	Фосфор
Лиловый	Озимые и яровые зерновые	Всходы, кущение	Фосфор
Серый	Овес	3 листа, начало кушения	Марганец

Более точно, чем визуальная диагностика, определить недостаток какого-либо элемента питания позволяет субмикроролевой метод (инъекций и опрыскивания). Он состоит в том, что предполагаемый недостающий элемент вводят в стебель или опрыскивают им листья и несколько дней наблюдают за растением. Исчезновение признака дефицита элемента подтверждает правильность предположения. Для опрыскивания и инъекций используют 0,1%-е растворы мочевины, монофосфата натрия, сернокислого магния, 0,5%-е растворы калия и кальция, 0,1%-е растворы солей микроэлементов.

Однако точно определить состояние посевов можно, только используя химическую (тканевую и листовую) диагностику. Тканевая диагностика устанавливает содержание неорганических форм

элементов питания (нитратов, фосфатов, сульфатов, калия, магния и др.) в тканях свежих растений, в их соке и вытяжке. Листовая диагностика основана на анализе валового содержания в листьях элементов питания.

2.3.2. Почвенно-растительная диагностика азотного питания зерновых культур

Методика почвенно-растительной диагностики азотного питания зерновых разработана Н. Н. Семененко, А. З. Денисовой, А. Г. Корзун и др. (Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси). В соответствии с методикой, почвенная диагностика состоит в определении запаса усвояемого азота (суммы минеральных и легкогидролизуемых соединений азота) или минерального ($N-NO_3+N-NH_4$) в слое 0–40 см. Для растительной диагностики используются лабораторные методы определения нитратного или общего азота.

Почвенно-растительная диагностика позволяет корректировать дозы азотных удобрений для основного внесения и подкормок, рассчитанные в соответствии с системой удобрения озимых и яровых зерновых культур в зависимости от содержания азота в почве и растениях.

Для корректировки доз азотных удобрений для основного внесения под озимые зерновые культуры пробы почвы отбирают за 10–15 дней до сева. Чтобы определить дозы азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур, почвенные пробы на содержание усвояемого азота отбираются в третьей декаде октября — первой декаде ноября, на содержание минерального азота — весной. Для уточнения доз азотных удобрений в основное внесение под яровые зерновые культуры почвенные образцы на суглинистых и супесчаных почвах отбирают в третьей декаде октября — первой декаде ноября, на песчаных — весной после схода снега и подсыхания почвы (чтобы в ней не было избыточной влаги).

Пробы почвы отбирают буром в слое 0–40 см преимущественно диагональным способом отдельно для пахотного и подпахотного горизонтов. Из многих проб составляется один смешанный образец. На поле до 25 га отбирают два смешанных образца, 25–50 га — три, 51–100 — четыре и 101–200 — пять образцов. На участках с пониженным рельефом образцы отбирают отдельно.

Определив содержание в почве усвояемого или минерального азота, рассчитывают запас азота (А) в слое 0–40 см по формуле

$$A = (C_1 n_1 a_1 + C_2 n_2 a_2) \cdot 0,1,$$

где C_1 и C_2 — содержание азота в пахотном и подпахотном горизонтах почвы, мг/кг; n_1 , n_2 — мощность пахотного и подпахотного горизонтов соответственно, см; a_1 , a_2 — плотность почвы пахотного и подпахотного слоев соответственно, г/см³.

У дерново-подзолистых суглинистых почв плотность пахотного горизонта составляет 1,2 г/см³, подпахотного 1,4, у супесей связанных 1,3 и 1,5, у супесей рыхлых и связанных песков 1,4 и 1,6, у рыхлых песков 1,5 и 1,7 г/см³ соответственно.

Дозы азота для основного внесения под яровые и озимые зерновые в зависимости от обеспеченности почв азотом приведены в табл. 2.9, для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур — в табл. 2.10. Первую подкормку проводят с возобновлением вегетации. При ранневесенней подкормке, когда верхний слой достаточно влажный, эффективность разных форм азотных удобрений примерно одинакова. Необходимость в более поздних подкормках зерновых устанавливается по данным растительной диагностики. Ее проводят в фазах: конец кущения — начало выхода в трубку, середина трубкувания, выход последнего листа, колошение.

Таблица 2.9. Дозы азотных удобрений для основного внесения под яровые и озимые зерновые, кг/га д. в.

Обеспеченность почв усвояемым азотом	Почвы	
	суглинистые	песчаные и супесчаные на песках
<i>Яровые зерновые</i>		
Менее 120 кг/га	50–60	40–50
120–200 кг/га	30–40	20–30
200–300 кг/га	20–30	—
Более 300 кг/га	Не вносят	—
<i>Озимые зерновые</i>		
Менее 120 кг/га	45–60*	30
120–200 кг/га	30–40	—
Более 200 кг/га	Не вносят	—

* Более высокие дозы азота применяют под пшеницу.

Таблица 2.10. Дозы азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур, кг/га д. в.

Содержание в почве азота, кг/га		Дозы азота, кг/га*	
усвояемого	N-NO ₃ + N-NH ₄	Озимая рожь	Озимая пшеница
Менее 120	Менее 60	50–60	60–70
120–200	60–100	30–40	40–50
201–300	101–150	20–30	30–40
Более 300	Более 150	–	0–20

* Большие дозы применяют при густоте побегов менее 800 шт./м² озимой ржи и менее 900 — озимой пшеницы; при длительной холодной погоде (среднесуточная температура менее 10 °С).

Растительная (тканевая и листовая) диагностика азотного питания зерновых основана на зависимости между уровнем азотного питания растений и накоплением ими азотистых веществ. В фазе кущения — начало выхода в трубку диагностическим показателем может быть содержание общего азота и нитратной его формы. При диагностике в фазе последнего листа более достоверным показателем является содержание общего азота в листьях. В фазе колошения проводят только листовую диагностику. Широкое использование метода определения общего азота долгое время сдерживалось из-за его трудоемкости и недостаточной оперативности проведения анализа. Создание инфракрасных анализаторов состава растительной продукции и анализаторов проточного типа устранило эти препятствия.

Растительные пробы отбирают с 8 до 12 ч. За 1–2 дня до диагностики не должно быть осадков. Один смешанный образец отбирают с площади до 50 га. Если рельеф поля неровный, то с низких и высоких мест образцы растений отбирают отдельно.

Для тканевой диагностики в фазе конец кущения — начало стеблевания используют часть стебля длиной 5–7 см над первым от земли узлом, в фазе стеблевания — над вторым узлом и в фазе последнего листа — над последним от земли узлом. При проведении листовой диагностики в первый срок используются третий и четвертый листья снизу, во второй и третий срок — второй и третий листья сверху и в фазе колошения — первый и второй листья сверху. Индикаторные органы отбирают на центральных стеблях 50–70 растений в 10 местах по диагонали поля через равные промежутки. Один смешанный образец готовят с площади со сравнительно

однородным рельефом до 50 га. Для листовой диагностики образцы сушат на воздухе в тени или в термостате при 60–80 °С.

Содержание в растениях нитратного азота определяют в сухих или свежих образцах. В последнем случае пробы вначале фиксируют в термостате при температуре 90–100 °С в течение 40 мин, а затем досушивают при 60–80 °С в термостате или на воздухе.

Растительные образцы измельчают, и общий азот определяют фотоколориметрически по методу ЦИНАО или методом инфракрасной спектроскопии, нитратный — с применением ионометрии. По уровню содержания нитратного или общего азота определяют, нуждаются ли посевы зерновых на каждом поле в подкормке (табл. 2.11, 2.12).

Таблица 2.11. Содержание азота в растениях и дозы азотных удобрений для подкормки озимых пшеницы и ржи

Фаза развития	Озимая пшеница			Озимая рожь		
	Содержание в сухой массе		Доза, кг/га	Содержание в сухой массе		Доза, кг/га
	N-NO ₃ , мг/кг	N общий, %		N-NO ₃ , мг/кг	N общий, %	
Начало стеблевания	Менее 400	Менее 2,1	50–60	Менее 300	Менее 2,0	40–50
	400–700	2,1–3,4	40–50	300–600	2,0–3,0	30–40
	701–900	3,5–4,1	20–30	601–800	3,1–3,7	20–30
	901–1600	4,2–5,0	–	801–1500	3,8–4,5	–
Стеблевание (2 узла)	Менее 300	Менее 1,9	40–50	Менее 200	Менее 1,8	30–40
	300–600	1,9–2,7	30–40	200–500	1,8–2,5	20–30
	601–800	2,8–3,4	0–20	501–700	2,6–3,2	0–20
	801–1400	3,5–4,5	–	701–1200	3,3–3,8	–
Раскрытие последнего листа	Менее 200	Менее 1,7	30–40	Менее 100	Менее 1,6	30–40
	200–300	1,7–2,2	20–30	100–200	1,6–2,0	20–30
	301–400	2,3–3,0	0–20	201–300	2,1–2,7	0–20
	401–700	3,1–4,0	–	301–600	2,8–3,2	–
Колошение	–	Менее 1,8	30	–	Менее 1,5	30
	–	1,8–2,7	20	–	1,5–2,0	20
	–	2,8–3,5	–	–	2,1–2,8	–
	–	Более 3,5	–	–	–	–

Таблица 2.12. Содержание азота в растениях и дозы азотных удобрений в подкормку яровых зерновых культур

Фазы развития	Содержание в сухой массе		Обеспеченность растений азотом	Доза, кг/га
	N-NO ₃ , мг/кг	N общий, %		
1	2	3	4	5
Начало стеблевания	Менее 300	Менее 2,0	Очень низкая	40–50*
	300–600	2,0–2,8	Низкая	30–40
	601–800	2,9–3,6	Средняя	20–30
	801–1300	3,7–4,2	Оптимальная	–
	Более 1300	Более 4,2	Выше оптимальной	–
Стеблевание (2 узла)	Менее 200	Менее 1,8	Очень низкая	30–40
	200–500	1,8–2,5	Низкая	20–30
	501–700	2,6–3,1	Средняя	0–20
	701–1100	3,2–3,8	Оптимальная	–
	Более 1100	Более 3,8	Выше оптимальной	–
Раскрытие последнего листа	Менее 100	Менее 1,3	Очень низкая	30–40
	100–200	1,3–1,8	Низкая	20–30
	201–300	1,9–2,7	Средняя	0–20
	301–600	2,8–3,5	Оптимальная	–
	Более 600	Более 3,5	Выше оптимальной	–
Колошение	–	Менее 1,6	Низкая	30
	–	1,6–2,7	Средняя	20
	–	2,8–3,2	Оптимальная	–
	–	Более 3,2	Выше оптимальной	–

* Более высокие дозы применяют под пшеницу.

2.3.3. Переносные лаборатории для диагностики питания растений

Для диагностики питания растений известный в этой области ученый В. В. Церлинг считает необходимым определять несколько элементов питания и обязательно три основных — азот, фосфор и калий. При проведении химического анализа растений должны учитываться особенности их роста и развития, агротехники, погодные и другие условия.

Используя переносную лабораторию «Тканевая диагностика», можно определить содержание в растении азота, фосфора и калия с помощью оценочных шкал (в баллах). В качестве индикаторов в комплекте лаборатории используются химические жидкие и твер-

дые реактивы. При определении нитратов на срез растения наносят каплю раствора дифеналамина, который дает различные оттенки синего цвета. По интенсивности цвета, сравнивая его с цветовой шкалой, устанавливают сначала содержание азота в баллах, а затем по прилагаемой к прибору инструкции находят дозу азотных удобрений для подкормки.

Для определения содержания фосфора на пятно выжатого на фильтровальную бумагу из растения сока и срез наносят по каплям реактивы (молибденовокислый аммоний, бензидин, уксуснокислый натрий). По интенсивности окраски пятна определяют необходимость и дозы подкормки фосфорными удобрениями.

При определении калия из среза растения на фильтровальную обеззоленную бумагу выдавливают сок и смачивают пятно одной каплей дипикриламиновой магнезии, а затем каплей соляной кислоты. Интенсивность окраски пятна позволяет судить, нужна ли подкормка посевов калийными удобрениями.

Лаборатория «Тканевая диагностика» помещается в чемоданчике (450×310×135 мм) и весит не более 8 кг. Анализы в полевых условиях занимают не более 20–30 мин. Лаборатория укомплектована всем необходимым (реактивы, инструменты, бумажные обеззоленные фильтры, пипетка, бытовые и технические весы, баллон с дистиллированной водой, микрокалькулятор, цветные шкалы и др.).

Для определения в полевых условиях содержания общего и нитратного азота, хлора, кислотности сырых растительных образцов и почвы предназначена также переносная лаборатория «Диагностика». Чемоданчик со всем необходимым (450×310×315 мм) весит не более 5 кг. В отличие от лаборатории «Тканевая диагностика» в ней анализы проводятся с помощью ионоселективных электродов и малогабаритного переносного иономера И-102. Нитратный азот определяется в солевой суспензии 1%-х алюмокалиевых квасцов при соотношениях пробы и раствора: 1:2,5 — для почв, 1:100 — для сухих растений и кормов, 1:4 — для сырого материала с помощью селективного нитратного электрода ЭИ-11 в паре с серийным электродом ЭВЛ-1МЗ.

Лаборатория агронома (полевая) предназначена для проведения агрохимических анализов в полевых и неспециализированных лабораторных условиях (удаленных от стационарных лабораторий). Ее используют для проведения экспресс-анализа кислотности почв, содержания нитратов, фосфора, калия в сырых растительных образцах по методу Церлинг, спелости зерна, а также при биомет-

рических измерениях. Выполнена в виде переносного чемодана, в котором помещены: химические реактивы, предметный и рабочий столики, сборная рамка-шаблон, бытовые и технические весы, микрокалькулятор, цветные шкалы, инструкция по оценке результатов анализов, нож для микросрезов, ножницы, полевой рН-метр, мешки для отбора проб.

2.3.4. Листовая диагностика плодовых и ягодных культур

О степени снабжения плодовых и ягодных культур питательными элементами позволяет судить листовая диагностика, которая имеет особое значение в плодоводстве, так как почвенные анализы не дают полной картины обеспеченности растений доступными питательными элементами.

Листья для анализа плодовых деревьев отбирают в середине лета, после окончания роста побегов, у ягодных кустарников — при созревании ягод, у земляники — в период массового цветения и формирования ягод. Для образца отбирают 40–50 листьев, у плодовых деревьев их срывают с середины однолетних ростовых побегов. Листья помещают в бумажные пакеты, на которых указывают адрес и дату отбора образца, и направляют в лабораторию. В лаборатории каждый лист вытирают влажной салфеткой, чтобы удалить следы ядохимикатов и пыль, высушивают при температуре 60–70 °С до постоянной массы, после чего определяется общее содержание элементов питания в пробе общепринятыми методами. Сравнивая результаты анализа с оптимальным содержанием питательных веществ в листьях (табл. 2.13), корректируют дозы удобрений под урожай будущего года.

Таблица 2.13. Оптимальное содержание элементов питания в листьях плодоносящих плодово-ягодных культур, % от сухой массы

Культура	Азот	Фосфор	Калий	Кальций	Магний
Яблоня	2,0–2,2	0,18–0,22	1,3–1,6	0,8–1,5	0,2–0,38
Груша	1,9–2,6	0,2–0,3	1,4–1,8	1,1–1,3	0,3–0,5
Слива	1,8–2,9	0,22–0,37	1,7–2,6	2,2–3,5	0,35–0,75
Вишня	2,0–2,5	0,2–0,35	1,4–1,9	0,9–2,4	0,4–0,6
Земляника	2,2–3,0	0,35–0,50	2,0–3,0	1,8–2,5	0,16–0,30
Смородина	2,3–3,2	0,35–0,50	1,5–2,2	1,3–2,0	0,25–0,4
Крыжовник	2,2–2,9	0,35–0,50	1,7–2,3	1,3–2,0	0,25–0,4
Малина	2,4–3,2	0,35–0,50	1,4–1,9	1,1–1,6	0,3–0,5

Если содержание питательных элементов в листьях ниже оптимального уровня, минеральные удобрения нужно вносить уже в текущем году. При сильном недостатке элементов питания в листьях (более чем на 25 % ниже оптимального уровня) среднюю рекомендуемую дозу удобрений удваивают, при недостаточном содержании (на 20 % ниже оптимального) ее увеличивают в 1,5 раза, при оптимальном — норму не корректируют, при повышенном содержании (на 20 % выше оптимального) удобрения не вносят.

Глава 3

СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ

Физические, химические и биологические свойства почвы определяют условия питания растений, потребность в удобрениях и, следовательно, рост, развитие растений, урожайность и качество возделываемых культур.

Как основное средство производства в сельском хозяйстве почва характеризуется следующими важными особенностями: незаменимостью, ограниченностью, неперемещаемостью и плодородием. Эти особенности подчеркивают необходимость исключительно бережного отношения к почвенным ресурсам и постоянной заботы о повышении плодородия почв. Основным свойством почвы является плодородие — способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла для нормальной деятельности и создания урожая.

Общий запас элементов питания в почве и содержание их в доступных для растений формах, интенсивность процессов перехода элементов питания из неусвояемого состояния в усвояемое и обратно в значительной степени определяют условия питания растений и потребность в удобрениях. В зависимости от состава и свойств почвы общий запас и количество усвояемых элементов питания в разных почвах неодинаковы, поэтому отзывчивость растений на удобрения и эффективность их на разных почвах также различны.

Важное свойство почвы — ее поглощательная способность, под которой понимают способность почвы поглощать и удерживать

твердые, жидкие и газообразные вещества. Благодаря поглощательной способности почвы элементы питания удерживаются от вымывания и используются растениями.

В условиях интенсификации земледелия важнейшая задача — создать оптимальную систему питания растений, обеспечивающих получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества. Основные направления в оптимизации систем питания растений — улучшение почвенных условий и применение удобрений в полном соответствии с биологическими особенностями возделываемых сельскохозяйственных культур. Один из решающих факторов рационального использования почв — расширенное воспроизводство их плодородия как основы получения высоких и стабильных урожаев.

Валовое содержание макро- и микроэлементов в почвах. Песчаные и супесчаные почвы состоят в основном из кварца и полевых шпатов, суглинистые — из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые — преимущественно из вторичных глинистых минералов. Больше всего валового азота содержится в торфяных, дерново-подзолистых глинистых и суглинистых почвах, фосфора и калия — в дерново-подзолистых глинистых и суглинистых. Меньше всего азота и фосфора содержится в песчаных и супесчаных почвах, а калия — в торфяных. Следовательно, почвы разного гранулометрического состава существенно различаются по содержанию элементов питания (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Валовое содержание элементов питания в дерново-подзолистых и торфяных почвах, %

Тип почв, гранулометрический состав	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-подзолистые:			
песчаные	0,07–0,1	0,06–0,08	0,7–1,2
супесчаные	0,08–0,13	0,07–0,12	1,5–2,0
суглинистые	0,1–0,16	0,09–0,15	2,0–2,5
глинистые	0,1–0,23	0,14–0,16	2,5–4,0
Торфяные	2,5–5,0	0,29–0,67	0,03–1,0

Валовое содержание микроэлемента бора в дерново-подзолистых почвах составляет в среднем 7,8–27,0 мг/кг, подвижных форм — 0,17–0,8 мг/кг, увеличиваясь при переходе от песчаных к суглинистым и глинистым почвам. В торфяных почвах содержит-

ся в среднем 16,5 мг на 1 кг общего бора. В среднем по Республике Беларусь содержание на пашне подвижного бора составляет 0,61 мг/кг, т. е. имеет среднюю обеспеченность.

Валовое содержание меди в автоморфных дерново-подзолистых почвах составляет в среднем 4,7–10,5 мг/кг, увеличиваясь при переходе от легких по гранулометрическому составу к тяжелым. Бедны медью торфяные почвы. Средневзвешенное содержание подвижной меди в пахотных почвах Республики Беларусь составляет 1,83 мг/кг, т. е. они являются среднеобеспеченными.

Валовое содержание цинка в автоморфных дерново-подзолистых почвах республики находится в среднем в пределах 16,0–46,6 мг/кг. Средневзвешенное содержание подвижного цинка в пахотных почвах республики составляет 3,06 мг/кг, т. е. является средним.

Валовое содержание молибдена в автоморфных дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь 0,17–0,7 мг/кг почвы, увеличиваясь при переходе от песчаных почв к супесчаным и суглинистым.

3.1. Состав и свойства минеральной и органической частей почвы

Почва, по образному выражению В. В. Докучаева, является жилищем и кормилицей растений и занимает особое место среди факторов, влияющих на них. Отличительной особенностью современного земледелия является резкое возрастание роли плодородия интенсивно используемой почвы, что позволяет получать от нее большую отдачу.

Плодородие почвы — сложное ее свойство, характеризующееся в конечном счете масштабом обмена веществ и энергии с культурными растениями, подпочвой, атмосферой, поверхностными и почвенными водами, почвенными микроорганизмами и животными.

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

Твердая фаза почвы состоит из минеральной и органической частей, которые содержат основной запас питательных элементов для растений. На минеральную часть приходится 90–99 % твердой фазы почвы, на органическую — 1–10 %. Почти половина твердой

фазы почвы (49 %) приходится на кислород, одна треть — на кремний, более 10 % — на алюминий и железо и только 7 % — на остальные элементы.

Средний химический состав твердой фазы почвы (% массы) по А. П. Виноградскому характеризуется следующими данными:

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

В почве кроме макроэлементов содержится некоторое количество микроэлементов. Одних содержится меньше (медь, кобальт), других больше (йод, бор), чем в литосфере. Молибдена и цинка содержится в почве и литосфере примерно на одном уровне.

Азот практически полностью (95–97 %) содержится в органической части почвы, углерод, фосфор, сера, кислород и водород — как в минеральной, так и в органической, калий — только в минеральной части почвы.

3.1.1. Минеральная часть почвы

Минеральная часть почвы представлена различными по размерам частицами пород первичных и вторичных минералов, аморфных соединений. Она возникла в результате выветривания горных пород и минералов и их превращений в процессе почвообразования. Почвы наследуют геохимические особенности почвообразующих пород.

Под совокупным влиянием на минеральную породу физических и химических факторов деятельности живых организмов (растений и микроорганизмов) происходят глубокие изменения, которые привели к образованию на поверхности земной коры почвенного покрова.

Гранулометрический состав почвы зависит от минералогического состава, влияет на химический и определяет многие физические, физико-химические и химические свойства почвы.

В песчаных и супесчаных почвах преобладают первичные минералы, суглинистые состоят из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые — преимущественно из вторичных минералов с примесью кварца. Разделение минералов на первичные (более 0,001 мм) и вторичные (менее 0,001 мм) довольно условное, так как последние являются продуктами физико-химического выветривания первых и образования при этом гидратов полуторных оксидов кремнезема и других соединений. В процессе выветривания гидролиз, например, полевого шпата приводит к замещению катионов в кристаллической решетке минералов на ионы водорода.



Полевые шпаты и слюды при трансформации во вторичные минералы служат источником калия, кальция, магния, железа и других элементов для растений.

Физико-химическое выветривание нельзя отделить от биологического преобразования пород, минералов и других соединений под воздействием живых организмов почвы и продуктов их жизнедеятельности (кислоты, ферменты).

Первичные минералы — кварц, полевые шпаты, слюды — входят в материнские почвообразующие породы и присутствуют в виде частиц песка (0,05 до 1 мм), пыли (0,001 до 0,05 мм) и меньше в виде илестых (менее 0,001 мм) и коллоидных (менее 0,25 микрона) частиц. При разрушении минералов под влиянием химических процессов и жизнедеятельности различных организмов образуются гидраты полуторных оксидов, гидраты кремнезема, различные соли и вторичные минералы. Вторичные минералы находятся в почве преимущественно в виде илестых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц.

По химическому составу минералы подразделяются на кремнекислородные соединения, или силикаты (кварц), и алюмокремнекислородные соединения, или алюмосиликаты (полевой шпат, мусковит, биотит).

Вторичные алюмосиликатные минералы представлены листовыми двух- (каолиниты) и трехслойными (монтмориллониты) решетками, состоящими из слоев кремнекислородных тетраэдров, образующих гексагоны, соединенные с алюмогидроксильными октаэдрическими слоями. Среди двухслойных минералов каолиновой группы наиболее распространены каолинит $Al_4(OH)_8 [Si_4O_{10}]$ и галлуазит $Al_4(OH)_8 [Si_4O_{10}] \cdot 4H_2O$. Дисперсность их невысока, емкость поглощения не выше 25 мг-экв/100 г почвы (фракция < 0,001 мм), липкость небольшая, водопроницаемость хорошая.

Среди трехслойных вторичных минералов распространены монтмориллонит, нонтронит, бейделлит, сапонит, соконит. Эта группа глин обладает высокой дисперсностью, липкостью, набухаемостью и вязкостью.

Монтмориллонит — $Mg_3(OH)_4 [Si_4O_8(OH)_2 \cdot H_2O]$ — обладает высокой дисперсностью, содержит 60–80 % илестых частиц (<0,001 мм), 40–50 % коллоидных (<0,0001 мм). Благодаря высокой дисперсности емкость поглощения этого минерала достигает 120 мг-экв/100 г, при увлажнении он набухает. При этом в межплоскостное пространство могут проникать обменные катионы (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{++} и др.), которые при дегидротации (подсушивании) почвы фиксируются и становятся недоступными для растений до следующего увлажнения. Монтмориллонит преобладает в черноземных почвах.

Гидрослюды иллит (гидромусковит) — $(K, H_3O) Al_2(OH)_2 [Al, Si]_4 \times nH_2O$ и гидробиотит присутствуют практически во всех почвах в илестой и коллоидной фракциях. Они образуются из полевых шпатов и слюд и по физическим свойствам занимают среднее положение между монтмориллонитом и каолинитом. Гидрослюды содержат 5–7 % калия. Благодаря высокой дисперсности обладают большой поверхностью и поглотительной способностью.

Аморфные вещества минеральной части почвы представлены гидроксидами кремния $SiO_2 \cdot nH_2O$, алюминия Al_2O_3 и железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, которые в коллоидной фракции в зависимости от ре-

акции среды могут вести себя как кислоты или основания, обуславливая обменную поглотительную способность катионов и анионов.

В изоэлектрических точках гидрооксиды кремния, алюминия и железа выпадают в аморфные осадки, которые по мере старения кристаллизуются, образуя новые минералы.

В почве содержатся также в небольшом количестве и непосредственные источники питания растений — минеральные соли: нитраты, сульфаты, карбонаты, хлориды, фосфаты кальция, калия, магния, натрия, марганца и др. Все нитраты, хлориды, сульфаты, углекислые соли калия и натрия, а также однозамещенные фосфаты ортофосфорной кислоты хорошо растворимы в воде, но их в почвах мало.

Почвы разного гранулометрического состава существенно различаются по физическим и химическим свойствам. Неодинаков у них и минералогический состав. С уменьшением размера частиц количество кремния в почвах снижается, а количество алюминия, железа, кальция, магния, калия и фосфора возрастает (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Примерный химический состав гранулометрических фракций почвы

Фракция	Содержание, %						
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P
1–0,2 мм	43,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,7	0,02
0,2–0,04 мм	43,8	1,1	0,8	0,4	0,1	1,2	0,04
0,04–0,01 мм	41,6	2,7	1,0	0,6	0,2	1,9	0,09
0,01–0,002 мм	34,6	7,0	3,6	1,1	0,2	3,5	0,04
< 0,002 мм	24,8	11,6	9,2	1,1	0,6	4,1	0,18

С увеличением дисперсности снижается только содержание кремния и возрастает содержание всех других элементов, в том числе и азота, который в составе гумуса также сосредоточен в наиболее дисперсной фракции. Поэтому илистая и коллоидная фракции представляют наибольшую ценность для питания растений. Эти фракции обуславливают поглотительную способность почвы и являются наиболее активной частью в формировании емкости катионно-анионного и молекулярного обмена, структурообразования и буферности при ее взаимодействии с растениями, биотой, удобрениями и мелиорантами.

Регулирование водно-воздушного режима конкретных почв соответствующими обработками в сочетании с применением органических и минеральных удобрений, известкованием почв улучшает корневое и воздушное питание растений, способствует развитию почвенных микроорганизмов, повышает урожайность и качество сельскохозяйственных культур.

Жидкая фаза — почвенный раствор — наиболее активная и подвижная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой происходит поглощение питательных элементов растениями. Жидкая фаза образуется из воды, поступающей с осадками, из грунтовых и паводковых вод, при конденсации водяных паров и растворимых в почвенном растворе веществ твердой и газообразной фаз. Никакая жизнь и никакие химические процессы в почве немыслимы без воды и растворов. В зависимости от типа почвы, реакции и других условий в почвенном растворе содержатся катионы H^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др. и анионы NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , Cl^- , OH^- , HCO_3^- и др. Железо и алюминий содержатся в почвенном растворе в виде устойчивых комплексов с органическими веществами, а в кислых почвах — в виде катионов и гидратов полтораоксидов в коллоиднорастворимой форме. Особенно важным является наличие в почвенном растворе ионов NH_4^+ , $H_2PO_4^-$, NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} . В почвенном растворе из органических соединений могут быть органические кислоты, сахара, аминокислоты, спирты, ферменты и др. Органические соединения представлены комплексными соединениями гумусовых кислот, полифенолов, других органических соединений с поливалентными катионами. Водорастворимые органические соединения почвенного раствора являются продуктами жизнедеятельности растений и микроорганизмов.

Большое значение имеют концентрация и степень диссоциации растворенных веществ, от которых зависит осмотическое давление почвенного раствора и поглощение корнями воды и питательных элементов. Обычно в незасоленных почвах содержание водорастворимых солей составляет 0,05 %. Наиболее благоприятная их концентрация 0,1 %. Избыток солей (более 0,2 %) вредно действует на многие сельскохозяйственные культуры, особенно в течение двух–четырех недель с момента прорастания. Однако с возрастом растений их устойчивость к высоким концентрациям возрастает.

Состав и концентрация почвенного раствора заметно изменяются под влиянием различных факторов. Поступление солей в него происходит в результате выветривания и разрушения минералов, разложения органических веществ в почве, внесения минеральных и органических удобрений. Уменьшение концентрации почвенного раствора происходит при вымывании растворимых соединений в нижележащие горизонты, разбавлении за счет выпадающих осадков, усвоении питательных элементов сельскохозяйственными культурами. Состав и концентрация солей в растворе зависят также от взаимодействия его с твердой фазой почвы, от обменных реакций между раствором и почвенными коллоидами.

Питание растений различными веществами осуществляется через почвенный раствор. При недостатке влаги резко снижается поступление элементов питания в растения. Следовательно, удобрения эффективно действуют только при достаточном количестве влаги в почве.

Газообразная фаза почвы — почвенный воздух — результат взаимодействия атмосферного воздуха и образующихся в почве газов играет важную роль в жизни растений, их корней и аэробных микроорганизмов. Почвенный воздух находится в некапиллярных порах (больших промежутках в почве), так как в капиллярах большей частью находится вода.

В почве постоянно происходит потребление кислорода и выделение CO_2 . В связи с этим почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием диоксида углерода и меньшим — кислорода. В атмосферном воздухе содержится 0,03 % диоксида углерода, а в почвенном — до 0,3–1 %, а иногда 2–3 % и более.

Образование CO_2 происходит благодаря разложению органического вещества микроорганизмами и дыханию корней. В результате диффузии CO_2 из почвы происходит обогащение им надпочвенного воздуха, непосредственно омывающего листья растений. Повышенное содержание CO_2 в приземном слое воздуха создает лучшие условия для ассимиляции диоксида углерода растениями и способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Увеличению содержания CO_2 в приземном слое воздуха способствует внесение органических удобрений.

При растворении диоксида углерода в почвенной влаге образуется угольная кислота (H_2CO_3), которая диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- .

Обогащение почвенного раствора углекислым газом усиливает его растворяющее действие на минеральные соединения почвы (фосфаты и карбонаты кальция и др.), способствует переводу их в усвояемые формы. В то же время при плохой аэрации и высоком содержании углекислого газа, недостатке кислорода, что наблюдается при избыточной влажности, в почве начинают преобладать восстановительные процессы, ухудшается дыхание и рост корней, уменьшается усвоение корнями питательных элементов. Хорошая аэрация создает в почве благоприятные условия для развития почвенных микроорганизмов, питания и роста растений.

3.1.2. Органическая часть почвы

Органическое вещество почвы, хотя и составляет небольшую часть твердой фазы, является наиболее важным показателем плодородия почв и играет большую роль в питании растений. Органическое вещество почвы — это совокупность всех органических веществ, находящихся в форме гумуса и остатков животных и растений. Органические вещества твердой фазы почвы подразделяются на две большие группы:

1) гумусовые или перегнойные вещества специфической природы;

2) негумифицированные вещества растительного и животного происхождения, остатки растений, червей, насекомых, тела микроорганизмов.

Гумус — часть органического вещества почвы, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических веществ почвы, за исключением соединений, входящих в состав животных организмов и их остатков. В процессе гумификации происходит новообразование сложных продуктов — собственно гумусовых соединений. На их долю приходится 85–90 % всей органической части почвы, и, по существу, они являются формой аккумуляции солнечной энергии на земле. Гумус концентрирует энергию солнца, перераспределяет ее и обеспечивает энергией последовательную цепь организмов, выполняющих значительную

механическую работу, а также биохимические и химические реакции, составляющие сущность почвообразования.

Негумифицированные органические вещества — это отмершие, но еще не разложившиеся или полуразложившиеся остатки растений и микроорганизмов. На площади 1 га в почву ежегодно поступает 5–10 т растительных остатков и 0,7–2,4 т продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Негумифицированные органические вещества сравнительно легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в доступные для растений формы.

Одновременно в почве идут процессы гумификации растительных и животных остатков и образуются специфические гумусовые вещества. Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гиматомелановых кислот и гуминов.

Гуминовые кислоты — группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и нерастворимых в кислотах. Они представляют собой гетерогенную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, включающих ароматические циклы и алифатические цепи.

Гуминовые кислоты содержат в зависимости от типа почвы 30–43 % углерода, 32–42 % водорода, 17,5–22 % кислорода, 2,4–3 % азота, а также фосфор, серу и другие элементы питания.

Фульвокислоты — группа гумусовых кислот, растворимых в воде, щелочах и кислотах. Фульвокислоты — гумусовые вещества желтой или красноватой окраски. В структуре фульво-, как и гуминовых кислот, установлены ароматические и алифатические группы. Однако ароматическая часть их в молекуле выражена менее ярко, в основном преобладают боковые цепи, т. е. алифатические, углеводные и аминокислотные компоненты. По составу фульвокислоты различных типов почв менее разнообразны. Они обладают высокой подвижностью, значительно более низкими молекулярными массами, чем другие группы гумусовых веществ. Фульвокислоты содержат 27–30 % углерода, 34–42 % водорода, 25–30 % кислорода и 1,4–2,5 % азота.

Фульвокислоты по сравнению с гуминовыми кислотами содержат меньше углерода и азота, но больше кислорода. Обладают относительно более выраженными кислотностью и склонностью к комплексо- и хелатообразованию.

Гиматомелановые кислоты — группа гумусовых кислот, растворимых в этаноле, с промежуточными свойствами между фульвокислотами и гуминовыми кислотами. Ранее включалась в группу гуминовых кислот. Отличается от последних растворимостью в полярных органических растворителях и другими свойствами.

Гумин — органическое вещество, входящее в состав почвы, нерастворимое в кислотах, щелочах, органических растворителях. Эта неэкстрагируемая часть гумуса представлена двумя типами соединений: гумусовыми веществами, наиболее прочно связанными с глинистыми минералами; частично разложившимися растительными остатками, утратившими анатомическое строение и обогащенными наиболее устойчивыми компонентами, прежде всего лигнином. В тяжелых глинистых почвах гумины составляют более 50 % гумуса.

Гумифицированные вещества почвы более устойчивы к микробиологическому разложению, чем негумифицированные соединения. Однако разложение гумуса в почве, хотя и медленно, но происходит. В условиях Республики Беларусь на полях, занятых зерновыми культурами, за вегетационный период на дерново-подзолистых почвах разлагается 0,7–0,8 т/га гумуса, пропашными — 1,0–1,2 т/га с образованием доступного растениям минерального азота, фосфора, серы. В гумусе содержится около 5 % азота, 1,5–2,5 % фосфора. В дерново-подзолистых почвах на органические соединения в зависимости от гранулометрического состава приходится 30–40 % фосфора и 90 % серы от общего содержания этих элементов в почвах.

Гумус является не только источником питательных элементов для растений, но и оказывает прямое влияние на водно-физические свойства почвы. С увеличением содержания в почве углерода уменьшается плотность почвы, увеличивается порозность и влагоемкость. Органическая часть почвы обладает мощной водоудерживающей способностью, может связать в 7–10 раз больше воды, чем минеральная. На каждый процент гумуса в почве влагоемкость ее повышается на 8–10 весовых процентов. Это особенно важно для легких супесчаных и песчаных почв.

Для тяжелых глинистых и суглинистых почв положительная роль гумуса определяется его влиянием на рыхлость, аэрацию, устранение избыточной влажности, т. е. установление более благоприятных условий для роста и развития растений.

Специфическая роль гумуса в оструктурировании определяется, главным образом, подвижными, гидрофильными компонентами, входящими в его состав.

Систематическое применение органических, минеральных удобрений в сочетании с известкованием почвы оказывает существенное влияние на улучшение водно-физических свойств почв. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь, на дерново-подзолистой слабокультуренной легкосуглинистой почве экспериментальной базы «Курасовщина», отличающейся малой фильтрационной способностью, известкование, внесение органических, минеральных удобрений и посев клевера повышало коэффициент фильтрации с 0,7 до 63 м³ в сутки.

Исследованиями Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси установлено, что неблагоприятный водный режим песчаных почв существенно улучшался при применении высоких доз органических удобрений (от 60 до 220 т/га за ротацию 7-польного севооборота), при сочетании их с зелеными удобрениями, полным минеральным удобрением и известкованием. Применение органических удобрений способствовало улучшению физических свойств почвы, увеличивало полевую влагоемкость и запас продуктивной влаги.

Установлена и акцепторная роль гумуса в закреплении избыточного количества вносимых в почву минеральных и органических веществ. Эта функция гумуса особо четко проявляется при применении минеральных удобрений и особенно азотных. Временно закрепленные элементы питания, вследствие более интенсивного развития микроорганизмов, постепенно переходят в доступную для растений форму равномерно на протяжении вегетации, обеспечивая сельскохозяйственные культуры необходимыми для питания соединениями. Закрепление избыточного в начале вегетации растений азота удобрений предохраняет его от вымывания, сохраняет в сфере развития корневой системы, обеспечивая растения азотом по мере минерализации в основные периоды роста и развития.

Гумусовые вещества оказывают защитное действие на ионы фосфора, калия и других питательных элементов. Они, обволакивая поверхность минералов гумусовыми пленками, препятствуют необратимой сорбции фосфатов в почве. Была замечена способ-

ность гумусовых веществ предотвращать фиксацию глинистыми минералами калия за счет образования соединений типа хелатов.

Отличительная особенность органического вещества дерново-подзолистых почв Республики Беларусь — высокое содержание углерода нерастворимого остатка (30–40 % валового содержания и более), что обусловлено использованием длительное время в качестве компонента торфо-навозных компостов больших количеств торфа, в состав которого входят специфические вещества (битум 4–5 %, лигнин 17–18 %), слабо поддающиеся микробиологическому воздействию и не участвующие в почвообразовании и питании растений. Относительная скорость минерализации органического вещества торфа приблизительно в 4,5 раза ниже, чем навоза. Компост по скорости минерализации занимает промежуточное положение между навозом и торфом. Быстрая минерализация навоза обусловлена более высоким содержанием в нем водорастворимых веществ и меньшим содержанием труднорастворимых компонентов — целлюлозы, трудногидролизуемых белков, воскоsmол, лигнина.

Содержание гумуса в почве оказывает существенное влияние на эффективность удобрений. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь, за счет минерализации органических веществ почвы растения могут усвоить 20–25 кг азота на каждый процент гумуса в почве.

На почвах с невысоким содержанием гумуса возрастает потребность в азотных удобрениях, а фосфорные и калийные удобрения без внесения азота не проявляют высокой эффективности. На почвах с высоким содержанием гумуса снижается потребность в азотных удобрениях и повышается эффективность фосфорных и калийных, так как растения лучше обеспечиваются азотом за счет запасов почвы. Обобщение 62 опытов с ячменем на дерново-подзолистых супесчаных почвах показало, что прибавка урожая от применения 180 кг NPK составила 0,6 т/га зерна на почве с содержанием гумуса 1–1,3 % и 1,4 т/га при увеличении гумуса до 1,9–2,2 %, т. е. более чем в два раза.

Более высокая эффективность минеральных удобрений на хорошо гумусированных окультуренных почвах — свидетельство возрастающего значения плодородия почвы в интенсивном земледелии.

При определении оптимума главное установить нижнюю границу содержания гумуса, при которой недостаток в почве органического вещества является тормозом в формировании высоких урожаев, что же касается верхнего предела, то для дерново-подзолистых почв его содержание будет определяться, прежде всего экономическими причинами.

Высокое содержание гумуса в почве обходится дорого, и если почва содержит 3 % гумуса, то для поддержания этого высокого уровня потребуется в два раза больше вносить органических удобрений, чем при содержании 2 %, поскольку в первом случае значительно интенсивнее протекают микробиологические процессы. По данным Т. Н. Кулаковской, оптимальные параметры гумуса для дерново-подзолистых суглинистых почв составляет 2,5–3,0 %, песчаных — 2,0–2,5 и песчаных — 1,8–2,0 %.

Многолетние травы наряду с органическими удобрениями являются одним из источников гумусонакопления.

При соотношении многолетних трав и пропашных культур 1,5 для поддержания бездефицитного баланса гумуса на связных почвах необходимо вносить 10–12 т/га подстилочного навоза, на легких 12–18 т/га, а в среднем на пашне в Беларуси — 12,3 т/га.

Как показали исследования, для поддержания бездефицитного баланса гумуса на дерново-подзолистых почвах в плодосменных севооборотах при содержании многолетних трав в структуре посевных площадей от 19 до 30 % требуется от 14 до 7 т/га навоза соответственно.

В связи с накоплением водорастворимых форм органического вещества в почвах при длительном применении удобрений предполагают, что в его составе значительное место занимают свежесформированные гумусовые соединения, находящиеся на ранних стадиях гумификации, более «молодые» в химическом отношении.

В процессе гумификации органическое вещество растительных остатков проходит ряд последовательных стадий, которые в зависимости от условий почвообразования протекают с различной для каждой стадии скоростью:

Растительные остатки → Гидрофильная стадия разложения → Гидрофобная стадия разложения → Ионно-молекулярная стадия разложения (минерализация).

Первая стадия гумификации характеризуется гидрофильностью, возникающей как за счет продуктов разложения растительных остатков, так и за счет разложения самих микроорганизмов, их разлагающих. Внесение навоза даже в высоких дозах ежегодно не увеличивает гидрофильность органического вещества почвы в отличие от минеральных удобрений. Это указывает на то, что навоз характеризуется скорее гидрофобными, чем гидрофильными свойствами. Это, по-видимому, связано с тем, что большое место в составе органического вещества навоза занимают уже полностью сформировавшиеся гумусовые вещества.

3.2. Поглотительная способность почвы

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из растворов и удерживать их называется *поглотительной способностью почвы*. Это свойство почвы было известно давно. Еще в середине XIX в. английский ученый Д. Уэй установил, что почвой поглощается не вся соль, а только ее основание, при этом из почвы в раствор переходит такое же количество других оснований.

Большой вклад в изучение поглотительной способности почвы внес К. К. Гедройц. В его трудах исследование поглотительной способности почв тесно увязано с многочисленными теоретическими и практическими вопросами применения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т. д. К. К. Гедройц выделил пять видов поглотительной способности почв: механическую, физическую, химическую, физико-химическую или обменную, и биологическую.

Механическая поглотительная способность — это наиболее простой вид поглощения, которое происходит благодаря наличию в почве тончайших пор и капиллярных ходов. Мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через почву воде, задерживаются, т. е. механически поглощаются. Механическая поглотительная способность зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы и ее сложения, у песчаных почв она минимальная, у глинистых — максимальная. Механически первоначально поглощаются фосфоритная мука, известковые удобрения (любой сте-

пени измельчения), микроорганизмы. Благодаря механической поглотительной способности из почвы не вымываются илстые частицы и нерастворимые в воде удобрения.

Физическая поглотительная способность почвы — это способность ее положительно или отрицательно адсорбировать газы, молекулы солей, спиртов, щелочей и других веществ. Растворенное вещество притягивается или отталкивается поверхностью твердых частиц почвы. Интенсивность физического поглощения прямо зависит от количества мелкодисперсных частиц в почве и считается положительным, когда молекулы растворенного вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, и отрицательным, если сильнее притягиваются молекулы воды. Положительное физическое поглощение аммиака почвой происходит при внесении безводного аммиака или аммиачной воды, отрицательное — растворов нитратов и хлоридов. Это обуславливает высокую подвижность последних в почве, что необходимо учитывать при внесении нитратных и хлорсодержащих минеральных удобрений. Нитратные минеральные удобрения следует вносить ближе к посеву или в подкормку, а содержащие много хлора — с осени, чтобы произошло хотя бы частичное вымывание его, так как большинство культур отрицательно реагирует на хлор.

Химическая поглотительная способность — это способность почвы удерживать ионы путем образования труднорастворимых или нерастворимых в воде соединений в результате химических реакций, происходящих в почве. Наибольшее значение химическое поглощение имеет при превращении соединений фосфора в почве.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность — это способность мелкодисперсных коллоидных частиц почвы (от 0,00025 мм до 0,001 мм), несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора, причем поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других, ранее поглощенных твердой фракцией почвы. Совокупность мелкодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью, К. К. Гедройц назвал почвенным поглощающим комплексом (ППК).

Почвенные коллоиды подразделяются на органические, минеральные и органо-минеральные. Органические коллоиды представлены гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульво-

кислоты и их соли), минеральные — глинистыми минералами, как кристаллическими, так и аморфными соединениями (кремниевая кислота, гидраты полторных оксидов).

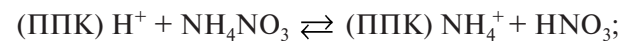
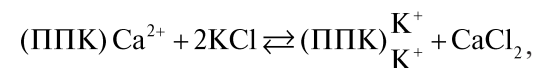
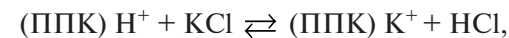
Способность органических коллоидов и минералов глин к обмену поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Поэтому поглощаются катионы солей (удобрений). Положительный заряд имеют коллоидные гидроксиды железа и алюминия, тогда обменно поглощаются анионы NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} . Обменно поглощаются в почве калийные и многие азотные удобрения.

Обменная поглотительная способность имеет большое значение для питания растений и применения удобрений. Поглощенные ППК катионы доступны для растений в обмен на H^+ , получаемый при диссоциации H_2CO_3 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$), которая выделяется при дыхании корней растений.

Поскольку поглощенный калий на связных почвах не вымывается из почвы, то повышенные дозы калийных удобрений можно вносить в запас и повышать содержание калия в почве.

Закономерности обменного поглощения катионов:

- реакция обмена между ППК и катионами солевых растворов протекает в эквивалентных соотношениях;
- реакция обмена катионов обратима, т. е. поглощенный катион может быть снова вытеснен в раствор:



- при постоянной концентрации раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, увеличивается с увеличением объема раствора;
- при постоянном объеме раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, повышается с увеличением концентрации раствора вытесняющей соли;
- реакции обменного поглощения в почвах подчиняются закону действующих масс: чем выше концентрация катионов в раство-

ре и чем ниже содержание катионов в ППК, тем больше катионов поглотится почвой;

- реакции обмена катионов при взаимодействии почвы с раствором протекают с большой скоростью, так как обмен катионов происходит на поверхности коллоидных частиц почвы;
- разные катионы поглощаются почвой и удерживаются в поглощенном состоянии с неодинаковой энергией. Чем больше атомная масса и заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из почвы другими катионами.

Двухвалентные и трехвалентные катионы несут большие электрические заряды и поэтому значительно сильнее притягиваются коллоидными частицами, чем одновалентные. При одинаковой валентности энергия поглощения катионов тем выше, чем больше их атомная масса, так как атомная масса и гидратация катиона находятся в обратной зависимости. Например, к H^+ присоединяется 1 молекула воды, к NH_4^+ — 4,4 молекулы воды, к Na^+ — 8,4 молекулы воды. Слабогидратированные катионы сильнее притягиваются поверхностью коллоида.

По возрастающей способности к поглощению катионы располагаются в следующем порядке: Li; Na; NH_4 ; K; Rb; Cs; Mg; Ca; Ba; Cd; Co; Al; Fe. Исключение составляет ион H^+ . Он имеет наименьшую атомную массу, но обладает высокой энергией поглощения и способностью вытеснять из поглощающего комплекса другие катионы.

По данным К. К. Гедройца, энергия поглощения H^+ в 4 раза больше, чем Ca^{2+} , и в 17 раз больше, чем Na^+ . Это связано с тем, что в водных растворах ион водорода присоединяет молекулы воды и образует ион гидроксония (H_3O^+), диаметр которого значительно меньше всех других гидратированных ионов.

Обменное поглощение анионов может наблюдаться на положительно заряженных коллоидных частицах (гидроксиды железа и алюминия), а также на положительно заряженных участках отрицательно заряженных коллоидов (у минералов каолинитовой группы, коллоидов белковой природы). В обоих случаях поглощение анионов происходит в обмен на ионы OH^- , которые при кислой реакции отщепляются от молекул, расположенных на поверхности коллоидной частицы. В почвах, имеющих слабокислую и нейтральную реакцию, обменное поглощение выражено слабо.

Существенное значение обменное поглощение анионов имеет для фосфорных удобрений. Анионы фосфорной кислоты ($H_2PO_4^-$) в дерново-подзолистых почвах поглощаются обменно преимущественно путем присоединения к положительно заряженным частицам полутороксидов и к той части почвенных минералов, которая представлена полутороксидными оксидами (например, у каолинита) в обмен на ионы OH^- . Именно поглощенные фосфат-ионы могут быть вытеснены в раствор другими анионами минеральных и органических кислот (HCO_3^- , гуминовых кислот и др.) и являются доступными для растений.

Катионы калия, аммония, рубидия и цезия могут частично закрепляться (фиксироваться) почвами в необменной форме. Это связано с тем, что они проникают внутрь кристаллической решетки минералов, входящих в почвенный поглощающий комплекс. Связано это с радиусом катиона. Радиус катиона $K^+ = 1,33 A^0$, радиус $NH_4^+ = 1,43 A^0$ (A^0 — ангстрем; $1 A^0 = 10^{-10} м = 10^{-8} см = 0,1 нм$).

Степень необменной фиксации катионов зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы. У черноземов она значительно больше, чем у дерново-подзолистых почв. Необменная фиксация катионов возрастает при периодическом увлажнении и высушивании почвы. Поэтому калийные удобрения для уменьшения необменной фиксации калия рекомендуется заделывать вспашкой в глубокий, непересыхающий слой почвы или вносить лентами, перемешивая с меньшим объемом почвы. Предпочтительнее гранулированные калийные удобрения.

Биологическая поглощительная способность почвы состоит в том, что азот и зольные элементы удерживаются почвой в составе органических веществ, образуемых растениями и почвенными микроорганизмами, благодаря чему эти питательные элементы не вымываются из почвы. Биологическое поглощение играет важную роль в превращении нитратных соединений азота в почве. Так, легкорастворимые соли азотной кислоты удерживаются в почве главным образом, будучи усвоенными микроорганизмами. После их отмирания и минерализации они вновь становятся доступными для растений. В среднем на площади 1 га микроорганизмы могут удерживать до 125 кг азота, 40 фосфора и 25 кг калия.

Исследованиями, проведенными со стабильным изотопом азота, установлено, что в почве в органической форме закрепляет-

ся 20–40 % азота аммонийных и 10–20 % азота нитратных азотных удобрений.

Эта же способность почвы может иметь и отрицательные последствия. Если в почву вносится много богатого клетчаткой, но бедного азотом органического вещества (солома; навоз, содержащий много соломы, опилки и другие органические материалы), то микроорганизмы, будучи конкурентами растений, используя клетчатку в качестве энергетического материала, будут интенсивно размножаться и потреблять много азота из почвы. Азотное питание растений может ухудшиться. Поэтому при запашке соломы на удобрение в почву необходимо вносить в расчете на каждую ее тонну 10–12 кг азота или 6–8 т/га жидкого навоза или же высевать зернобобовые культуры.

Известкование кислых почв, комбинированное внесение органических и минеральных удобрений позволяют регулировать интенсивность микробиологических процессов в почве.

3.3. Реакция и буферные свойства почвы

Реакция почвы — физико-химическое свойство почвы, обусловленное соотношением ионов H^+ и OH^- в ее твердой и жидкой частях. Почва кислая, если в ней преобладают ионы H^+ , и щелочная, если ионы OH^- . Реакция почвы оказывает большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на эффективность удобрений, на химические и биохимические процессы в почве. Для количественной оценки реакции почвы применяют различные показатели: рН суспензии почвы в воде или в растворе KCl.

Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать условной величиной рН (отрицательный логарифм концентрации H^+ ионов).

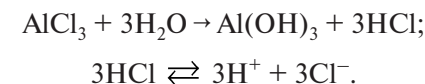
Принято следующее деление минеральных и торфяных почв Республики Беларусь в зависимости от реакции почвенного раствора pH_{KCl} (табл. 3.3).

По кислотности почв выделяют актуальную (активную) и потенциальную (скрытую) кислотность. Последняя подразделяется, в свою очередь, на обменную и гидролитическую.

Таблица 3.3. Градация почв по степени кислотности

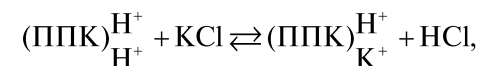
Группа	Степень кислотности	Почвы, pH_{KCl}	
		минеральные	торфяные
I	Сильнокислые	Менее 4,5	4,00
II	Среднекислые	4,51–5,00	4,01–4,50
III	Кислые	5,01–5,50	4,51–5,00
IV	Слабокислые	5,51–6,0	5,01–5,50
V	Близкие к нейтральным	6,01–6,50	5,51–6,00
VI	Нейтральные	6,51–7,00	6,01–6,50
VII	Слабощелочные	Более 7,0	Более 6,50

Актуальная кислотность — это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов H^+ , а также слабых минеральных (H_2CO_3), органических кислот и гидролитически кислых солей ($AlCl_3$). Последние при гидролизе образуют слабое основание и сильную кислоту:



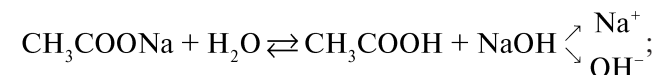
Актуальная кислотность непосредственно влияет на развитие растений и почвенных микроорганизмов.

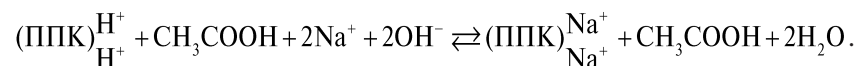
Потенциальная (скрытая) кислотность обусловлена ионами H^+ , Al^{3+} и Fe^{3+} , поглощенными почвенным поглощающим комплексом (ППК) с отрицательным зарядом. Часть поглощенных ионов водорода и алюминия может быть вытеснена в раствор катионами нейтральных солей (KCl):



в результате чего почвенный раствор подкисляется. Это обменная потенциальная кислотность почвы, выражается рН в KCl.

При обработке почвы уксуснокислым натрием CH_3COONa или уксуснокислым кальцием $(CH_3COO)_2Ca$ все ионы, обуславливающие кислотность почвы, вытесняются в раствор:





Эта полная кислотность получила название гидролитической.

Кислотность, обнаруживаемая при обработке почвы раствором CH_3COONa , включает актуальную и потенциальную кислотность — как обменную, так и собственно гидролитическую (которая не обнаруживается КС1). Гидролитическая кислотность выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Свойства почвы характеризуются также *степенью насыщенности основаниями* — суммой поглощенных оснований, выраженной в процентах от емкости катионного обмена (ЕКО):

$$V = \frac{S \cdot 100}{T} = \frac{S \cdot 100}{S + \text{H}_T},$$

где V — степень насыщенности почвы основаниями, %; S — сумма поглощенных оснований (кроме H^+); T (ЕКО) — поглощательная способность всех катионов, включая ионы водорода, мг-экв/100 г почвы.

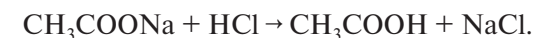
Степень насыщенности основаниями показывает, какая часть общей емкости поглощения приходится на поглощенные основания и какая — на ионы водорода. Например, $V = 70\%$ означает, что 70 % от общей емкости катионного обмена (T) занимают основания и 30 % ионы водорода.

Буферная способность почв. Почвенный раствор подкисляется в результате выделения углекислоты при дыхании корней, образовании HNO_3 при нитрификации и от продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Реакция почвы изменяется также от применения удобрений. Изменение реакции разных почв под действием этих факторов неодинаково. Способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону называется *буферной способностью почвы*. Буферность почвы в целом зависит от буферных свойств ее твердой и жидкой частей. Буферность раствора создается слабыми кислотами и их солями. Слабые кислоты диссоциируют не полностью, большая часть их находится в виде недиссоциированных молекул:

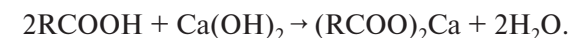
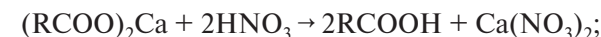


Если к этому раствору прибавить NaOH , то произойдет связывание ионов H^+ с образованием воды и рН изменится мало. Следовательно, слабая кислота будет противодействовать подщелачиванию раствора.

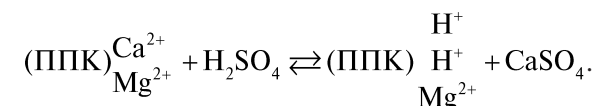
Раствор слабой кислоты и ее соли будет буферным также и против подкисления:



Буферность почвенного раствора обуславливается также водорастворимыми органическими кислотами и их солями:



Чем больше емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями, тем сильнее почва противостоит подкислению:



Чем больше ионов водорода в почве, тем сильнее она будет противостоять подщелачиванию.

На почвах с низкой буферной способностью (песчаных, супесчаных, бедных гумусом) при внесении физиологически кислых удобрений возможны резкие сдвиги реакции в кислую сторону. На таких почвах вносят также меньшие дозы извести, чем на суглинистых, так как они слабо противостоят подщелачиванию. Это нужно учитывать при внесении минеральных удобрений и извести.

Многостороннее влияние на питание растений оказывает состояние почвенного поглощающего комплекса, поскольку от его состава и характера зависит содержание питательных элементов в почвах, их подвижность и доступность для растений, поведение вносимых удобрений, что в конечном итоге определяет режим питания растений, специфику системы применения удобрений на различных почвах.

Большое значение для плодородия почв имеет общее количество способных к обмену катионов, что называют емкостью катионного обмена. В кислых слабо- и среднекультуренных почвах емкость поглощения низкая и колеблется от 3–5 мг-экв/100 г на песчаных почвах до 11–12 мг-экв/100 г почвы на суглинистых почвах. В хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах емкость поглощения катионов достигает 15–17 мг-экв/100 г почвы, а степень насыщенности основаниями — 70–80 %. Малая степень насыщенности почв основаниями указывает на большое содержание в поглощающем комплексе водорода и алюминия. Оптимальной степенью насыщенности основаниями для дерново-подзолистых суглинистых почв в пахотном горизонте является 79–90 %, для супесчаных, подстилаемых мореной, — 70–85 % и для песчаных и рыхлосупесчаных, подстилаемых мореной, — 60–80 %.

По данным Т. Н. Кулаковской, наблюдается самая тесная связь между урожайностью сельскохозяйственных культур и свойствами почвенного поглощающего комплекса. Отмечается высокая отзывчивость озимой ржи и ячменя на повышение суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими почвы. После известкования кислых почв увеличивается емкость поглощения и степень насыщенности основаниями и на первое место по влиянию на урожай уже становится обеспеченность почвы питательными элементами.

Кислотность почвы отрицательно влияет на рост и развитие многих сельскохозяйственных культур. Повышенная концентрация ионов водорода и алюминия в дерново-подзолистых почвах оказывает как прямое, так и косвенное действие на питание растений.

При систематическом внесении минеральных азотных и калийных физиологически кислых удобрений наблюдается подкисление реакции почвенного раствора. В связи с этим интенсивное применение минеральных удобрений должно сочетаться с известкованием.

Прямое действие заключается в нарушении коллоидно-химических свойств протоплазмы растительных клеток, изменении в неблагоприятную сторону концентрации органических кислот в клеточном соке, нарушении белкового обмена и торможении синтеза белка, изменении адсорбции и поглощения растениями ионов.

По силе воздействия на рост и развитие растений реакция почвы в большинстве случаев выступает как главный фактор, ограничивающий урожай.

На слабокислых и близким к нейтральным почвах доступность фосфора для растений выше, чем на кислых, и дозы фосфорных удобрений могут быть снижены. Повышенная кислотность почвы отрицательно сказывается и на эффективности азотных удобрений. На почвах с меньшей кислотностью снижается потребность в азотных удобрениях и возрастает в калийных. На известкованных почвах возрастает на 15–20 % оплата урожаем минеральных удобрений и улучшается качество зерновых, сахарной свеклы и других сельскохозяйственных культур.

Агрофизические свойства почвы оказывают существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений. Уплотнение почвы происходит под влиянием естественных факторов — дождя, особенно при отсутствии растительного покрова, и сил гравитации. Однако основной причиной уплотнения является механическое воздействие ходовой системы тракторов, комбайнов, почвообрабатывающих машин, средств для внесения в почву органических и минеральных удобрений и др.

Оптимальная плотность пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв для зерновых культур составляет 1,1–1,3 г/см³, для картофеля — 1,0–1,2, а супесчаных — 1,2–1,5 г/см³. Фактическая плотность значительно выше. В среднем в Республике Беларусь плотность пахотного слоя суглинистых почв превышает оптимальную на 0,18–0,20 г/см³, а подпахотного — на 0,35–0,50 г/см³. В зависимости от погодных условий увеличение плотности пахотного слоя сверх оптимального на 0,15 г/см³ уменьшает урожайность зерновых культур на 3,1–5,6, кормовой свеклы — на 85–249 ц/га.

Снижение урожайности сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы происходит в результате ухудшения ее водно-воздушного режима, усиления процесса эрозии почвы и засоренности посевов, отрицательного влияния на усвоение растениями азота, фосфора, калия и других элементов питания.

Применение тяжелых тракторов увеличивает и без того высокую плотность, ухудшает водно-воздушный режим почвы. Максимальное давление всех колесных тракторов на почву весной выше допустимого. Поэтому весенне-полевые работы рекомендуется

проводить гусеничными тракторами, а мощные тракторы использовать летом и осенью, когда влажность пахотного слоя не превышает 0,7 % полевой влагоемкости.

Уменьшить плотность пахотного горизонта и увеличить влагоемкость можно, применяя повышенные дозы органических удобрений и обрабатывая почву. Основными причинами снижения урожайности при уплотнении почвы является ухудшение условий для формирования мощной корневой системы. Уменьшения плотности пахотного слоя можно добиться глубоким рыхлением (на 35–40 см). Глубокое подпахотное рыхление на автоморфных почвах должно проводиться весной, на временно избыточно увлажненных — как весной, так и осенью.

3.4. Агрохимическая характеристика почв Беларуси и пути повышения их плодородия

По данным «Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь» на 1 января 2021 года общая площадь земель в республике составляет 20 760,9 тыс. га. Из них сельскохозяйственные земли во всех категориях землепользователей составляет 8283,9 тыс. га, или 39,9 % (сельскохозяйственная освоенность территории), в том числе пахотные 5660 тыс. га или 27,3 % общей площади (распаханность территории). Площадь луговых земель составляет 2520,8 тыс. га, из них улучшенных 1767,3 тыс. га.

Состав почвенного покрова пахотных земель Беларуси характеризуется значительным разнообразием, обусловленным типовыми различиями, степенью увлажнения, гранулометрическим составом почвообразующих пород, различной степенью его антропогенного преобразования.

Типовая принадлежность почв в Беларуси существенно сказывается на их плодородии. В составе сельскохозяйственных земель республики по типовой принадлежности преобладают дерново-подзолистые (34,2 %) и дерново-подзолистые заболоченные (37,1 %) почвы. Значительно меньшие площади занимают дерновые заболоченные и дерново-карбонатные заболоченные (3,7 %) и антропогенно-преобразованные (3,3 %). Дерново-карбонатные составляют только 0,1 %.

Дерново-подзолистые почвы наиболее широко распространены в Гродненской (47,2 %), Могилевской (41,9 %) и Минской (39,7 %), дерново-подзолистые заболоченные — в Витебской (59,8 %) и Могилевской (40,8 %), дерновые дерново-карбонатные заболоченные — в Брестской (26,1 %) области. Максимальные площади торфяных почв сосредоточены в Брестской, Гомельской и Минской областях (18,8; 14,2 и 14,7 % соответственно).

В последние годы в республике наблюдается увеличение площадей антропогенно-преобразованных почв, которые занимают в настоящее время 3,3 %. Среди них преобладают деградированные. Наибольшие площади их сконцентрированы в Брестской, Гомельской и Минской областях.

Качественное состояние почв в значительной мере определяется гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород (табл. 3.4). Он существенное влияние оказывает на эффективность удобрений.

Таблица 3.4. Распределение почв сельскохозяйственных земель по гранулометрическому составу (по областям и республике), %

Область	Глинистые	Суглинистые			Супесчаные			Песчаные			Торфяные и торфяно-минеральные
		всего	из них		всего	Из них		всего	Из них		
			мощные	подстилаемые песком		подстилаемые суглинком	подстилаемые песком		подстилаемые суглинком	мощные	
Брестская	0,0	3,8	3,1	0,7	32,7	10,5	22,2	40,7	4,2	36,5	22,8
Витебская	0,5	49,6	48,6	1,0	38,0	28,8	9,2	6,0	0,8	5,2	5,9
Гомельская	0,0	4,7	4,0	0,7	32,8	9,2	23,6	46,9	4,6	42,3	15,6
Гродненская	0,2	3,1	2,9	0,2	73,0	47,3	25,7	15,4	2,0	13,4	8,3
Минская	0,0	21,5	19,9	1,6	47,7	21,7	26,0	13,2	2,4	10,8	17,6
Могилевская	0,0	34,2	33,0	1,2	50,4	26,1	24,3	8,8	2,6	6,2	6,6
Беларусь	0,1	20,1	19,2	0,9	45,2	23,4	21,8	21,5	2,8	18,7	13,1

Глинистые и суглинистые и торфяно-минеральные почвы занимают 20,2 %, супесчаные — 45,2 %, песчаные — 20,5 %, торфяные — 13,1 %. В Витебской, Могилевской и Минской областях на долю глинистых и суглинистых почв приходится 50,1, 34,2 и

21,5 %, в Брестской и Гомельской областях более широко представлены легкие почвы.

Уровень плодородия дерново-подзолистых почв обуславливается гранулометрическим составом, водным режимом и агрохимическими свойствами, прежде всего содержанием гумуса, элементов питания и степенью кислотности. Более плодородные почвы — глинистые, суглинистые, окультуренные торфяники, а также супесчаные, подстилаемые суглинками. На эти почвы в Беларуси приходится 56,4 % пашни. Больше всего их в Витебской и Могилевской областях и меньше в Гомельской и Брестской. Почвы Гродненской области по сочетанию всех показателей, определяющих уровень плодородия, более плодородны.

Почвы республики очень пестры по гранулометрическому составу, что связано с разнообразием почвообразующих пород. Гранулометрический состав почвы определяет ее водный и питательный режимы. Супесчаные почвы характеризуются менее устойчивым водным режимом в сравнении с суглинками, но в случаях близкого подстилания суглинками по своим свойствам приближаются к последним. Песчаные почвы отличаются очень малой влагоемкостью и, как правило, бедны питательными элементами.

Научно обоснованное применение минеральных, органических и известковых удобрений, соблюдение всех звеньев технологий возделывания сельскохозяйственных культур являются основными условиями, позволяющими целенаправленно осуществлять воспроизводство плодородия почв. Агрохимические свойства почв находятся в зависимости от уровня применения удобрений, но и сами влияют на эффективность удобрений.

Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, продукции хорошего качества, обеспечения экологической безопасности окружающей среды необходимо поддержание оптимального содержания макро- и микроэлементов в почве. Высокоплодородные почвы лучше противостоят механическим и техногенным нагрузкам, снижают негативное действие токсических веществ. Исследования, проведенные в Беларуси и других странах, показали устойчивую количественную зависимость урожая сельскохозяйственных культур от агрохимических свойств почв. Наибольший практический интерес представляют показатели, систематически определяемые агрохимической службой на каждом

поле, один раз в четыре года: степень кислотности (pH в KCl), содержание гумуса, обменного кальция и магния, подвижных форм фосфора, калия и микроэлементов. Агрохимические показатели являются важной составляющей общей оценки потенциального плодородия почв. В условиях интенсивного использования земель происходит существенное изменение свойств почв даже в течение небольшого временного периода.

Состояние агрохимических свойств почв наиболее объективно отражает характер ведения сельскохозяйственного производства. Рациональное применение минеральных и органических удобрений, соблюдение всех звеньев технологий возделывания сельскохозяйственных культур являются основными факторами, позволяющими целенаправленно воздействовать на процесс воспроизводства плодородия почв. Планирование объемов работ и осуществление почвоулучшающих мероприятий проводится из расчета достижения и поддержания оптимальных параметров основных агрохимических свойств почв, при которых обеспечиваются высокие уровни урожаев сельскохозяйственных культур и окупаемость удобрений, а также приемлемый уровень экологической безопасности (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Интервалы оптимальных параметров агрохимических свойств почв Беларуси

Земли	Почвы	Оптимальные параметры			
		pH_{KCl}	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	Гумус, %
Пахотные	Глинистые и тяжело-суглинистые	6,2–6,8	300–350	250–300	2,8–3,2
	Средне- и легкосуглинистые	6,0–6,7	300–350	200–300	2,6–3,0
	Связносупесчаные	5,8–6,5	250–300	190–250	2,4–2,8
	Рыхлосупесчаные	5,5–6,2	200–250	170–230	2,2–2,6
	Песчаные	5,5–5,8	150–230	120–200	2,0–2,4
Пахотные и луговые	Торфяные	5,0–5,3	600–1000	400–800	–
Луговые	Минеральные	5,8–6,2	120–200	150–200	3,5–4,0

Средневзвешенный показатель pH_{KCl} в 14-м агрохимическом обследовании по республике снизился с 5,84 до 5,81 по срав-

нению с 13. Процесс подкисления почв сопровождается небольшим увеличением доли почв с показателем pH_{KCl} менее 5,0. Более заметно возросла доля сильно- и среднекислых почв в Гродненской и Могилевской области. В целом по республике площадь кислых почв с pH_{KCl} менее 5,5, в настоящее время составляет 30,7 % (табл. 3.6), а в Гродненской и Могилевской областях 41,5 % и 34,5 % соответственно.

Таблица 3.6. Распределение почв сельскохозяйственных земель по группам кислотности*

Область	По группам кислотности, %							Средневзвешенный pH
	<4,50	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00	6,01–6,50	6,51–7,00	>7,00	
Почвы пахотных земель								
Брестская	1,2	7,1	23,0	35,1	20,6	7,5	5,5	5,79
Витебская	1,2	4,9	13,1	24,2	30,5	20,3	5,8	6,07
Гомельская	1,8	7,6	21,5	30,2	25,0	11,6	2,3	5,78
Гродненская	2,9	11,0	27,6	32,5	18,4	5,6	2,0	5,69
Минская	1,2	6,4	20,5	33,9	28,6	8,1	1,3	5,79
Могилевская	4,3	10,3	19,9	27,1	28,0	9,4	1,0	5,75
Беларусь	2,0	7,7	21,0	31,0	25,2	10,2	3,0	5,81
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ								
Брестская	0,9	5,1	19,4	31,9	22,7	10,7	9,3	5,85
Витебская	1,4	5,5	14,0	24,9	29,0	19,1	6,1	6,03
Гомельская	1,8	7,1	19,6	28,4	23,4	13,8	5,9	5,79
Гродненская	2,0	7,4	19,2	26,7	22,2	13,3	9,2	5,88
Минская	1,0	5,1	17,0	29,1	28,9	14,3	4,6	5,79
Могилевская	4,2	8,9	16,9	25,2	27,7	13,8	3,3	5,76
Беларусь	1,6	6,1	17,6	28,2	25,6	14,1	6,8	5,86

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Особенно важным становится контроль соблюдения технологических регламентов, чтобы избежать переизвесткования почв. Почвы со слабощелочной реакцией (седьмая группа кислотности $pH_{KCl} > 7,0$ и шестая группа $pH_{KCl} 6,5–7,0$) представляют значительную проблему, так как занимают 13,2 % от площади пашни в

республике. На таких почвах наблюдается снижение доступности для растений микроэлементов, особенно Mn и Zn, что приводит к снижению урожайности и качества продукции многих культур. В первую очередь, страдают культуры кальцефобы: лен-долгунец, люпин и картофель.

Уровень кислотности почвы определяет ее биологическое состояние. При слабокислом диапазоне pH в почвах преобладают бактерии и актиномицеты, повышается численность нитрификаторов, азотфиксаторов, целлюлозолитических микробных сообществ. В сильнокислых и среднекислых почвах отмечается высокая численность плесневых грибов, многие виды которых синтезируют фитотоксические вещества. Средневзвешенный показатель кислотности улучшенных сенокосов и пастбищ выше, чем на почвах пахотных земель и составляет $pH_{KCl} 5,86$. Кислые почвы с pH_{KCl} меньше 5,5 занимают в структуре почв улучшенных сенокосов и пастбищ 25,6 %, меньше всего таких почв отмечено в Витебской области — 20,9 % (табл. 3.6).

Роль оптимизации реакции почв существенно возрастает в интенсивном земледелии. Известно, что эффективность минеральных удобрений существенно снижается при избыточной кислотности почв. Оптимизация почвенной кислотности является существенным фактором, способствующим новообразованию и закреплению гумусовых веществ. Кислая и щелочная реакция ограничивают их образование и закрепление в почве. В модельных полевых экспериментах с закладкой в дерново-подзолистую почву меченой по ^{14}C растительной массы показано, что изменение уровня pH_{KCl} от 4,0–4,2 до 6,0–6,2 приводило к повышению коэффициентов гумификации от 6,4 до 9,7% на фоне NPK и от 8,7 до 16,4 % на фоне NPK + навоз. Оптимизация реакции почвы сопровождалась более активным включением ^{14}C во фракции гумусовых кислот. Соотношение $S_{гк} : S_{фк}$ при $pH_{KCl} 6,0–6,2$ было близко к единице, в то время как при $pH_{KCl} 4,0–4,2$ содержание фракции фульвокислот в гумусе было в 2 раза больше, чем гуминовых.

Три десятилетия (1965–1995 гг.) на пахотных почвах в Беларуси поддерживался положительный баланс гумуса. Его достигали за счет большого выхода навоза на торфяной подстилке и расширения доли многолетних трав до 24–30 % от общей посевной площади. В результате средневзвешенное содержание гумуса в пахотных

почвах республики было повышено с 1,77 % в 1965 году до 2,28 % в 1996 году. Потребовалось тридцать лет упорного труда и больших капиталовложений, чтобы повысить содержание гумуса в почве, в среднем на 0,5 % или на 18 т/га. Средневзвешенное содержание гумуса было на уровне 2,23–2,25 % (рис. 3.1).

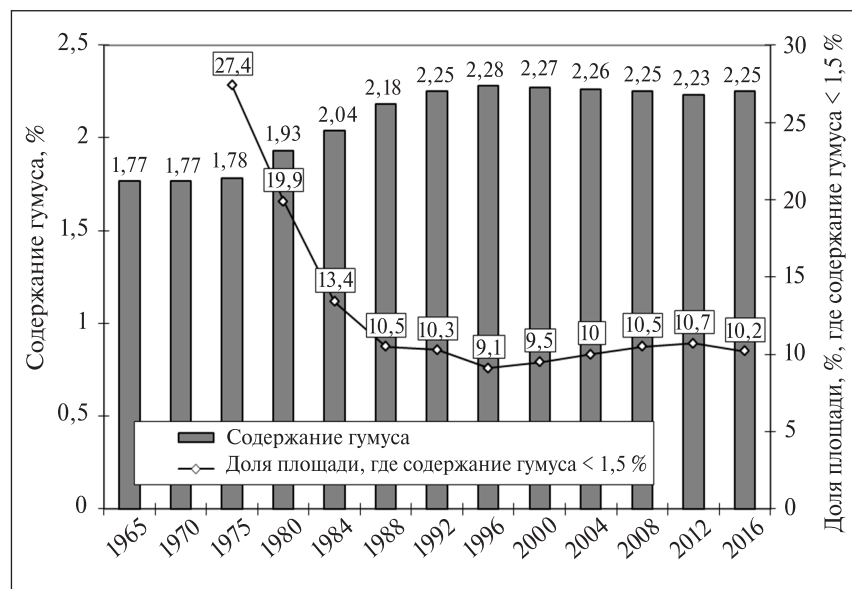


Рис. 3.1. Динамика содержания гумуса в пахотных почвах Беларуси

Содержание гумуса в пахотных почвах сильно различается по областям и районам республики в зависимости от преобладающих разновидностей почв. Известно, что повышенные концентрации органических веществ накапливаются в переувлажненных дерново-болотных и дерново-подзолистых заболоченных почвах и сохраняются в течении длительного времени после их осушения и распашки. Установлена тесная корреляционная зависимость средневзвешенных показателей содержания гумуса в пахотных почвах районов Беларуси от доли осушенных земель в пашне.

По мере увеличения доли осушенных земель от 2–5 до 65% от площади пашни содержание гумуса закономерно повышалось на 0,14 % на каждые 10 % увеличения доли осушенных почв. Приведенная зависимость имеет долговременный характер, если учесть,

что основные массивы осушенных земель были включены в пашню 35–45 лет тому назад.

Применяемые объемы органических удобрений в настоящее время в ряде районов недостаточны для поддержания бездефицитного баланса органического вещества в пахотных почвах. В настоящее время средневзвешенное содержание гумуса в Беларуси составляет на пашне 2,26 % (табл. 3.7).

Таблица 3.7. Распределение почв сельскохозяйственных земель по группам содержания гумуса по результатам исследования 2017–2020 гг.*

Область	По группам содержания гумуса, %						Средневзвешенное содержание гумуса, %
	<1,00	1,01–1,50	1,51–2,00	2,01–2,50	2,51–3,00	>3,01	
Почвы пахотных земель							
Брестская	1,2	9,9	26,4	23,9	13,4	25,9	2,32
Витебская	0,1	3,2	20,8	30,3	21,0	24,6	2,46
Гомельская	0,1	3,5	22,9	29,5	17,6	26,4	2,42
Гродненская	1,9	24,5	39,2	21,9	7,7	4,8	1,88
Минская	—	2,7	21,0	36,2	26,7	13,4	2,40
Могилевская	0,2	14,5	38,7	28,0	11,7	6,9	2,04
Беларусь	0,6	9,3	27,6	28,6	16,8	17,1	2,26
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ							
Брестская	0,2	2,9	9,3	13,4	13,9	60,3	2,93
Витебская	0,2	2,1	16,3	29,5	23,3	28,6	2,54
Гомельская	0,1	1,4	7,6	14,1	13,9	62,9	2,81
Гродненская	0,8	8,7	17,1	16,7	11,6	45,1	2,71
Минская	—	1,3	10,3	21,6	22,3	44,5	2,87
Могилевская	0,2	8,7	25,8	26,9	14,8	23,6	2,40
Беларусь	0,2	3,6	13,6	20,4	17,2	44,9	2,73

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Доля площади пахотных почв с низким содержанием гумуса (менее 1,5 %) по республике составляет 9,9 % от общей площади. В Гродненской и Могилевской областях доля площади пахотных почв с содержанием гумуса менее 1,5% достигла 26,4 и 14,7 % соответственно. Содержание гумуса мало различается по группам гранулометрического состава почв пашни.

Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ характеризуются сравнительно более высоким содержанием гумуса. Средневзвешенное содержание гумуса в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ по Беларуси стабилизировалось за последние годы на уровне $2,70 \pm 0,03$ % и составляет 2,73 %.

Систематическое обновление дернины (перезалужение) сенокосов и пастбищ в комплексе со сбалансированным минеральным удобрением позволяет поддерживать бездефицитный баланс гумуса и постепенно повышать плодородие луговых почв. Наблюдаемое снижение содержания гумуса в луговых почвах обусловлено их периодической распашкой под посевы полевых культур.

Обеспеченность почв фосфором. Содержание подвижных форм фосфатов является одним из основных признаков окультуренности дерново-подзолистых почв, тесно связанных с величиной урожая. Фосфор и калий в почве определяется в вытяжке 0,2М HCl — ГОСТ 26207-91.

По данным многолетних полевых опытов Института почвоведения и агрохимии увеличение содержания фосфора в почве сопровождается достоверным приростом продуктивности севооборота вплоть до 250 мг/кг на супесчаных и 300 мг/кг на суглинистых почвах. Соответственно на каждые 10 мг P_2O_5 на кг почвы продуктивность севооборота повышается на 66 и 79 к. ед. Прирост урожая постепенно затухает по мере повышения содержания фосфора в почве до оптимального уровня. По данным полевых опытов 1 кг фосфора (P_2O_5), при дозе 60 кг/га, обеспечивает среднегодовую прибавку урожая в севообороте 5,7–6,7 к. ед.

Обеспеченность почв фосфором влияет на микробиологические и биохимические процессы трансформации органического вещества, протекающими как при прямом участии микроорганизмов, так и за счет их метаболитов или внеклеточных ферментов, источниками которых также являются преимущественно микроорганизмы. Оптимизация содержания подвижных фосфатов в почве приводит к повышению заселенности почвы микроорганизмами, интенсифицирует процессы аммонификации органических азотсодержащих соединений с выделением неорганического азота, повышает скорость минерализации целлюлозы в почве.

Роль фосфорного и калийного питания растений возрастает в связи с внедрением новых сортов и гибридов растений, созданием

предпосылок для повышения урожайности сельскохозяйственных культур за счет технического перевооружения хозяйств. Фосфор и калий являются важнейшими элементами, влияющими на качество урожая, состав органических соединений в растении, принимают активное участие в образовании белковых веществ и нормализации процессов синтеза.

Средневзвешенное содержание P_2O_5 в пахотных почвах по республике составило 174 мг/кг, что на 14 мг/кг меньше по сравнению с предыдущим периодом. Из таблицы 3.8 видно, что еще 25,7 % площади пахотных почв в республике занимают почвы с низкой (менее 100 мг/кг почвы) обеспеченностью подвижными фосфатами, где необходимо внесение повышенных доз фосфорных удобрений. А в Минской области доля таких слабо обеспеченных фосфором почв достигает 32 % от площади пашни.

Таблица 3.8. Распределение почв сельскохозяйственных земель Беларуси по группам содержания подвижных фосфатов*

Область	По группам содержания P_2O_5 , мг/кг						Средневзвешенное содержание P_2O_5 , мг/кг
	<60	61–100	101–150	151–250	251–400	>400	
Почвы пахотных земель							
Брестская	8,9	20,4	26,9	31,2	11,4	1,2	152
Витебская	8,0	17,5	22,6	29,3	15,7	6,9	180
Гомельская	6,1	13,5	19,2	31,6	21,6	8,0	204
Гродненская	5,3	14,1	23,0	35,7	16,6	5,3	188
Минская	12,7	19,3	23,5	28,3	14,1	2,1	160
Могилевская	8,3	16,3	22,3	31,4	18,7	3,0	175
Беларусь	8,5	17,2	23,1	31,0	16,0	4,1	174
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ							
Брестская	28,3	29,2	21,3	15,8	4,7	0,7	103
Витебская	15,6	21,6	21,3	23,1	12,1	5,9	157
Гомельская	18,0	25,9	23,3	19,0	9,4	4,4	135
Гродненская	37,8	24,6	17,3	12,7	4,9	2,7	100
Минская	40,4	25,5	17,6	11,6	4,2	0,7	92
Могилевская	29,9	22,5	19,4	16,8	9,2	2,2	117
Беларусь	28,1	25,3	20,2	16,6	7,1	2,6	117

*По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

На улучшенных сенокосах и пастбищах, где ежегодные дозы внесения не превышают 2 кг P_2O_5 на гектар, уже длительный период наблюдается почти равновесное содержание подвижных фосфатов на уровне 108–120 мг P_2O_5 на кг почвы. По данным 14 тура агрохимического обследования почв средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ составило 117 мг/кг.

Обеспеченность почв калием. Пахотные почвы республики характеризуются в основном средней и повышенной обеспеченностью подвижным калием. Некоторое снижение объемов внесения калийных удобрений в 1994–1996 гг. сопровождалось уменьшением содержания калия в почвах в большинстве областей Беларуси. Однако в дальнейшем внесение калийных удобрений было увеличено в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур. К 2016 г. средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных почвах республики повысилось до 218 мг/кг, что на 36 мг/кг выше уровня 1992 г., или на 12 мг/кг по отношению к предыдущему туру обследования. За последние 4 года средневзвешенное содержание калия в почвах пашни снизилось на 13 мг (с 218 до 205 мг/кг почвы).

В целом по республике доля слабо обеспеченных калием почв (1 и 2 группы) составляет 29,4 % (табл. 3.9). Особенно радикально улучшен калийный режим почв на загрязненных радионуклидами пахотных и луговых землях. Всего за послеаварийный период на загрязненные земли внесено свыше 3,2 млн т K_2O и 1,1 млн т P_2O_5 , что позволило до 3–4 раз снизить концентрацию радионуклидов в продукции, создать фундамент плодородия почв, гарантирующий производство нормативно-чистых продуктов питания на перспективу. На основных массивах загрязненных пахотных почв поддерживается оптимальный уровень реакции, содержание подвижных форм калия и фосфора на 24–30 % выше, чем на незагрязненных почвах.

В целом по Беларуси обеспеченность подвижным калием различается соответственно гранулометрическому составу пахотных почв. Средневзвешенное содержание K_2O в глинистых и суглинистых почвах составляет 254, в супесчаных — 228, в песчаных почвах — 185 мг/кг почвы (рис. 3.2). В группе суглинистых и супесчаных пахотных почв средневзвешенные показатели содержания подвижного калия близки к оптимальным параметрам, а в группе песчаных почв уже превышают оптимум.

Таблица 3.9. Распределение почв сельскохозяйственных земель Беларуси по группам содержания подвижных форм калия*

Область	По группам содержания K_2O , мг/кг						Средневзвешенное содержание K_2O , мг/кг почвы
	<80	81–140	141–200	201–300	301–400	>400	
Почвы пахотных земель							
Брестская	6,6	27,7	33,9	23,9	6,3	1,6	180
Витебская	6,8	27,1	28,0	26,0	8,1	4,0	190
Гомельская	13,6	23,2	21,9	23,5	11,5	6,3	197
Гродненская	4,2	22,4	32,1	31,5	7,6	2,2	196
Минская	3,0	18,9	23,1	25,6	18,6	10,8	241
Могилевская	5,8	18,4	23,7	30,9	13,8	7,4	218
Беларусь	6,5	22,9	27,1	26,6	11,2	5,6	205
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ							
Брестская	20,8	37,3	24,0	13,4	3,3	1,2	137
Витебская	12,7	31,7	26,2	20,6	5,7	3,1	169
Гомельская	26,1	28,0	19,3	15,7	6,3	4,6	154
Гродненская	39,7	29,9	16,4	10,6	2,3	1,1	116
Минская	13,1	39,0	21,9	15,2	6,8	4,0	158
Могилевская	30,2	26,3	16,6	16,0	6,5	4,4	148
Беларусь	21,8	33,3	21,8	15,3	5,0	2,8	148

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

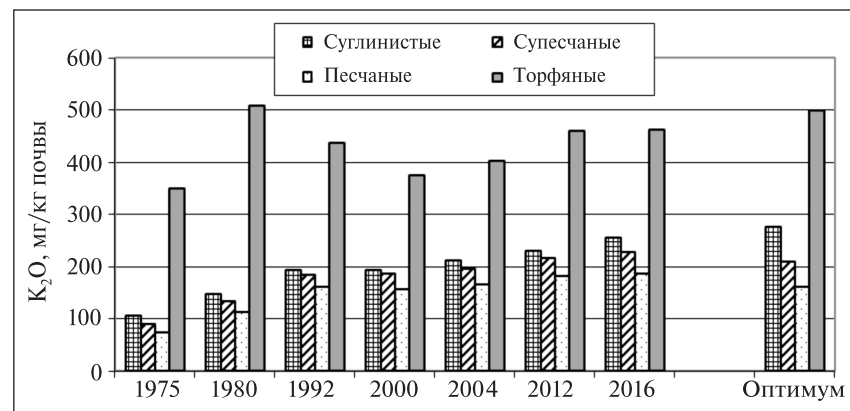


Рис. 3.2. Динамика содержания подвижного калия по группам гранулометрического состава пахотных почв Беларуси

Средневзвешенное содержание подвижного калия в луговых почвах составляет 148 мг K_2O на кг почвы. Свыше половины площади сенокосов и пастбищ в республике занимают почвы недостаточно (1–2 группы) обеспеченные калием.

Следует отметить, что затраты на применение калийных удобрений в интенсивном земледелии Беларуси хорошо окупаются прибавкой.

Поддержание оптимального уровня содержания калия в почве необходимо увязывать и с качеством растениеводческой продукции. Известно, что накопление калия (К) в сухом веществе кормовых культур должно находиться в пределах оптимума от 1,2 до 2,2 %, а соотношение К : (Са + Mg) в пределах 1,6–2,2.

На землях загрязненных радионуклидами, важными показателями качества растениеводческой продукции является содержание в ней ^{137}Cs и ^{90}Sr . Установлено, что с повышением содержания подвижных форм калия в почве концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции снижается по затухающей кривой.

Следует отметить, что обеспеченность почв калием оказывает регулирующее действие на ее микробиологический и биохимический статус. Повышение концентрации подвижных форм калия до оптимальных показателей повышает уровень биогенности почвы, ускоряет аммонификацию органических азотсодержащих соединений, высвобождая доступный для растений неорганический азот, повышает скорость минерализации поли- и олигосахаридов в почве, а также активизирует гумификацию растительных лигнинов в почве. При избыточном содержании калия регистрируется существенное снижение биологической активности почвы.

Обеспеченность почв кальцием. Кальций — структурный элемент клеточных оболочек, жизненно необходимый для образования новых клеток. Недостаток кальция сдерживает рост всех частей растения, что может привести к усилению недостатка и баланса других элементов вследствие слабо развитой корневой системы. Кальций поглощают только молодые части растений и он не реутилизируется.

Средневзвешенное содержание обменного кальция в почвах Беларуси в последние два десятилетия стабилизировалось на уровне СаО около 1000–1100 мг/кг на пашне и около 1500 мг/кг в лу-

говых почвах. По данным 14 тура агрохимического обследования (2017–2020 гг.) содержание обменного кальция на пахотных землях Беларуси составляет 1150 мг/кг почвы.

В условиях системного поддерживающего известкования уровень обеспеченности почв обменным кальцием обусловлен, в основном емкостью катионного обмена почв. Кальциелюбивые культуры (рапс, кормовая и сахарная свекла, ячмень, клевер) обеспечивают наибольшую урожайность в интервале содержания обменного кальция в суглинистых почвах 900–1500, а на супесчаных — 800–1300 мг СаО на кг почвы. На песчаных почвах оптимальное содержание обменного кальция оценивается на уровне 600–800 СаО на кг почвы. С учетом вышеприведенных параметров, более чем 80 % площади пашни республики характеризуются высокой степенью обеспеченности почв обменным кальцием по данным последнего тура агрохимического обследования.

Только на 0,4 % площади пахотных почв сельскохозяйственные культуры испытывают острый недостаток и на 17,8 % площади — относительно небольшой дефицит кальция для формирования урожая. Оптимальная и высокая обеспеченность почв кальцием наблюдается на 84,8 % площади улучшенных сенокосов и пастбищ. Средневзвешенное содержание СаО в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ составило по данным последнего 14 тура агрохимического обследования 1275 мг/кг (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Распределение площади почв сельскохозяйственных земель по группам содержания обменного кальция*

Область	По группам содержания СаО, мг/кг						Средневзвешенное содержание СаО, мг/кг
	<400	401–800	801–1200	1201–1600	1600–2000	>2000	
Почвы пахотных земель							
Брестская	0,2	20,4	36,9	14,8	8,1	19,6	1143
Витебская	0,1	3,0	21,3	32,3	22,5	20,8	1494
Гомельская	0,6	24,5	39,7	13,3	4,7	17,2	1098
Гродненская	0,5	19,2	52,5	19,7	4,6	3,5	1087
Минская	0,3	11,2	32,8	32,3	12,5	10,9	1133
Могилевская	0,9	30,3	50,3	15,0	2,1	1,4	953
Беларусь	0,4	17,8	38,3	21,6	9,3	12,6	1150

Окончание табл. 3.10

Область	По группам содержания СаО, мг/кг						Средневзвешенное содержание СаО, мг/кг
	<400	401–800	801–1200	1201–1600	1600–2000	>2000	
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ							
Брестская	1,1	5,4	12,9	12,8	15,1	53,7	1310
Витебская	0,1	2,7	18,5	31,5	23,4	23,8	1454
Гомельская	0,3	7,7	16,4	13,4	9,3	52,9	1486
Гродненская	0,3	6,5	19,6	12,8	7,6	53,2	1524
Минская	0,3	6,2	17,9	19,9	12,1	43,6	876
Могилевская	1,2	19,9	33,1	15,5	5,9	24,4	912
Беларусь	0,3	6,8	18,2	18,2	13,7	42,9	1275

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Обеспеченность почв магнием. Магний, как и кальций, необходим для жизни растений. Он входит в состав хлорофилла, фитина и ряда других важных соединений в растениях. Очень велика его роль в образовании и развитии генеративных органов.

За последние четыре года между 13 и 14 турами агрохимического обследования поддерживающее известкование кислых почв проводилось недостаточно, не более чем на 58 % от потребности. Поэтому обозначилось небольшое снижение средневзвешенного содержания обменного магния на пашне на 15 мг/кг (табл. 3.11).

Таблица 3.11. Распределение почв сельскохозяйственных земель по группам содержания обменного магния*

Область	По группам содержания MgO, мг/кг						Средневзвешенное содержание MgO, мг/кг
	<60	61–90	91–150	151–300	301–450	>451	
Почвы пахотных земель							
Брестская	4,8	12,7	28,6	38,9	11,6	3,4	175
Витебская	0,1	0,2	1,6	28,9	46,5	22,7	344
Гомельская	0,3	1,6	13,2	57,9	17,1	9,9	235
Гродненская	1,8	5,5	23,7	57,1	10,4	1,5	200
Минская	1,2	3,1	12,9	46,1	29,9	6,8	237
Могилевская	0,3	7,3	12,2	48,8	26,3	5,1	248
Беларусь	1,6	5,3	15,8	45,9	23,5	7,9	236

Окончание табл. 3.11

Область	По группам содержания MgO, мг/кг						Средневзвешенное содержание MgO, мг/кг
	<60	61–90	91–150	151–300	301–450	>451	
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ							
Брестская	2,6	7,7	17,5	36,8	25,6	9,8	211
Витебская	0,1	0,2	1,7	26,9	43,0	28,1	338
Гомельская	0,3	0,9	5,2	31,3	30,6	31,7	303
Гродненская	0,6	1,8	7,4	33,1	28,7	28,4	282
Минская	1,0	1,9	6,6	30,5	34,0	26,0	218
Могилевская	0,4	4,7	8,7	35,8	29,8	20,6	247
Беларусь	1,0	3,2	8,6	32,4	32,1	22,7	262

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Средневзвешенное содержание MgO в пахотных почвах Беларуси в настоящее время составляет 236 мг/кг, около 80 % площади характеризуется близкой к оптимальной обеспеченности почв магнием. Только на 6,9 % площади пашни возделываемые культуры испытывают острый недостаток магния для формирования высокой урожайности. В то же время на 35,7 % площади пашни отмечается высокое, местами избыточное, содержание обменного магния в почве.

Повышенная обеспеченность магнием пахотных и луговых почв характерна для Витебской, Минской и Могилевской областей, где больше суглинистых почв с повышенной емкостью катионного обмена. Пороговые концентрации MgO в почве, при которых уже практически не происходит уменьшение накопления ⁹⁰Sr в зерне яровой пшеницы, озимой ржи и ячменя находятся в узком диапазоне 220–250 мг/кг почвы.

Почвы луговых земель с более высокой емкостью катионного обмена и меньшей интенсивностью выщелачивания оснований, накапливают больше обменного магния, чем пахотные почвы. Оптимальная и высокая обеспеченность луговых почв магнием наблюдается на 97,3 % площади улучшенных сенокосов и пастбищ.

Обеспеченность почв микроэлементами. Биогеохимические исследования, проведенные в Беларуси и смежных областях бывшего Западного региона СССР, свидетельствуют об определенной зави-

симости между содержанием микроэлементов в почвах, величиной урожайности сельскохозяйственных культур и качеством продукции. На основании исследования хозяйственного баланса за 1971–1980 гг. был установлен дефицит бора для сахарной свеклы, льна и зернобобовых культур, меди — для зерновых культур. Потребности картофеля в боре и меди удовлетворялись за счет внесения органических удобрений. Содержание молибдена в почвах Беларуси повсеместно низкое, в пределах 0,03–0,10 мг/кг.

Многолетние исследования показали высокую эффективность внесения В, Cu, Mn, Zn, Co, Se и других микроудобрений под зерновые и зернобобовые культуры, лен, рапс, многолетние травы на почвах с низким и средним содержанием соответствующих микроэлементов. При этом важную роль играют приемы их внесения, дозы и сроки проведения некорневых подкормок микроэлементами для повышения качества продукции в соответствии с гигиеническими нормативами для продовольственных и кормовых культур. Некорневые подкормки тимофеевки луговой в начале фазы трубкования марганцем, медью, селеном и кобальтом способствовали также снижению накопления ^{90}Sr в растениях на 44–61 %.

Начиная с 1986 г. в республике ведется крупномасштабное обследование почв сельскохозяйственных земель на содержание подвижных форм микроэлементов — бора, меди и цинка. Для этих микроэлементов установлены градации содержания в почве, которые разделяются на четыре группы: низкое, среднее, высокое и избыточное содержание. Особенно важно определение содержания микроэлементов в почвах и соответствующее применение микроудобрений в зоне радиоактивного загрязнения почв. В Институте почвоведения и агрохимии и БГСХА большое развитие получило перспективное направление по разработке эффективных приемов и систем комплексного использования микроэлементов и регуляторов роста.

Анализ результатов последних туров обследования показал заметное снижение запасов подвижных форм бора, меди и цинка в почвах Беларуси.

Обеспеченность почв бором. Средневзвешенное содержание бора на пашне составляет 0,61 мг/кг, на сенокосах и пастбищах — 0,62 мг/кг почвы, что близко к оптимальному (табл. 3.12).

Таблица 3.12. Распределение площади почв сельскохозяйственных земель по группам содержания подвижного бора*

Область	По группам содержания В, мг/кг				Средневзвешенное содержание В, мг/кг почвы
	<0,30	0,31–0,70	0,71–1,00	>1,00	
Почвы пахотных земель					
Брестская	0,6	95,3	4,1	—	0,57
Витебская	0,9	53,9	35,6	9,6	0,70
Гомельская	5,4	67,0	15,6	12,0	0,54
Гродненская	1,4	65,2	29,7	3,7	0,64
Минская	8,0	57,1	26,5	8,4	0,58
Могилевская	0,1	68,5	26,9	4,5	0,63
Беларусь	3,0	68,6	22,2	6,2	0,61
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ					
Брестская	2,5	92,4	5,0	0,1	0,56
Витебская	0,8	54,2	33,1	11,9	0,68
Гомельская	2,7	45,4	18,8	33,1	0,63
Гродненская	0,7	34,2	24,2	40,9	0,74
Минская	5,5	39,6	27,3	27,6	0,53
Могилевская	0,7	59,1	29,3	10,9	0,62
Беларусь	2,3	58,4	21,3	18,1	0,62

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Обеспеченность почв медью. Средневзвешенное содержание меди в пахотных почвах составляет 1,78 мг/кг, а доля площади первой и второй групп с содержанием менее 3,0 мг/кг различается по областям в пределах 72,9–96,7 % (табл. 3.13). Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ также бедны медью (1,85 мг/кг) и на 86,2 % площади нуждаются в медьсодержащих подкормках.

Таблица 3.13. Распределение площади почв сельскохозяйственных земель по группам содержания подвижных форм меди*

Область	По группам содержания Cu, мг/кг				Средневзвешенное содержание Cu, мг/кг почвы
	<1,50	1,51–3,00	3,01–5,00	>5,00	
Почвы пахотных земель					
Брестская	54,4	35,6	7,7	2,3	1,88
Витебская	11,5	61,4	23,8	3,3	2,59
Гомельская	47,4	42,1	7,7	2,8	1,83

Окончание табл. 3.13

Область	По группам содержания Cu, мг/кг				Средневзвешенное содержание Cu, мг/кг почвы
	<1,50	1,51–3,00	3,01–5,00	>5,00	
Гродненская	74,7	22,0	2,4	0,9	1,36
Минская	71,8	23,7	3,6	0,9	1,48
Могилевская	56,5	37,1	5,2	1,2	1,61
Беларусь	53,9	36,2	8,1	1,9	1,78
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ					
Брестская	43,2	38,2	13,8	4,8	2,18
Витебская	12,5	61,9	21,8	3,8	2,52
Гомельская	38,5	40,7	14,6	6,2	2,19
Гродненская	46,1	32,6	13,2	8,1	2,16
Минская	58,3	30,7	8,3	2,7	1,75
Могилевская	51,2	35,0	11,0	2,8	1,85
Беларусь	40,2	40,9	14,2	4,7	2,14

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Обеспеченность почв цинком. Пахотные почвы Беларуси недостаточно обеспечены цинком (2,99 мг/кг). Средневзвешенное содержание цинка различается по областям от 2,57 в Минской области до 3,7 мг Zn на кг почвы в Могилевской области. Доля площади пахотных почв, где необходимо внесение цинксодержащих удобрений, почти не различается по областям. В Могилевской области дефицит цинка проявляется на 85,5 % площади, а в Гродненской — на 93,9 % (табл. 3.14). Почвы сенокосов и пастбищ характеризуются преимущественно низким и средним уровнем содержания цинка. Средневзвешенное содержание цинка в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ составляет 3,48 мг/кг.

Таблица 3.14. Распределение площади почв сельскохозяйственных земель по группам содержания подвижных форм цинка*

Область	По группам содержания Zn, мг/кг				Средневзвешенное содержание Zn, мг/кг почвы
	< 3,0	3,1–5,0	5,1–10,0	> 10,0	
Почвы пахотных земель					
Брестская	62,4	27,3	9,7	0,6	3,39
Витебская	60,6	30,8	7,4	1,2	3,12
Гомельская	64,8	26,0	7,7	1,5	3,07

Окончание табл. 3.14

Область	По группам содержания Zn, мг/кг				Средневзвешенное содержание Zn, мг/кг почвы
	< 3,0	3,1–5,0	5,1–10,0	> 10,0	
Гродненская	77,1	17,5	4,6	0,8	2,58
Минская	81,9	13,3	4,4	0,4	2,57
Могилевская	36,1	49,4	13,1	1,4	3,70
Беларусь	64,9	26,5	7,7	0,9	2,99
Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ					
Брестская	52,6	33,3	13,5	0,6	3,64
Витебская	55,2	33,4	10,0	1,4	3,31
Гомельская	57,5	25,6	13,8	3,1	3,53
Гродненская	50,3	28,2	18,3	3,2	3,78
Минская	68,1	21,6	9,5	0,8	2,85
Могилевская	34,0	40,4	19,3	6,3	4,06
Беларусь	54,5	30,3	13,3	2,0	3,48

* По состоянию на 1 января 2021 г., Брестская и Могилевская области — на 1 января 2020 г.

Таким образом, агрохимические показатели являются важной составляющей общей оценки потенциального плодородия почв. В условиях интенсивного использования земель происходит существенное изменение свойств почв. Для оценки состояния плодородия почв сельскохозяйственных земель, разработки мероприятий по поддержанию и повышению плодородия проводится агрохимическое обследование. Материалы агрохимического обследования почв являются исходной информацией при разработке систем удобрений под сельскохозяйственные культуры. Они используются при составлении проектно-сметной документации по известкованию кислых почв, при планировании и разработке защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве на загрязненных радионуклидами землях, для получения нормативно чистой продукции. Высокие уровни загрязнения сельскохозяйственных земель радионуклидами обусловили необходимость применения широкомасштабных защитных мероприятий во всех отраслях сельского хозяйства, а в первую очередь, в растениеводстве. Многие защитные мероприятия основываются на показателях агрохимических свойств почв.

3.5. Оптимизация плодородия почвы

Расширенное воспроизводство плодородия почв и на этой основе рост урожайности сельскохозяйственных культур должны идти путем оптимизации комплекса свойств почв, включая физико-химические, биологические и др. Состояние почв, степень их соответствия требованиям культурных растений для формирования высоких урожаев оценивается степенью окультуренности почвы. Для оценки степени окультуренности почв в Республике Беларусь используются показатели, контролируемые агрохимической службой: уровень кислотности (pH_{KCl}); содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Установлены оптимальные параметры этих показателей для основных типов почв республики, соответствующие высшей степени окультуренности почв.

Большой вклад в вопросы моделирования плодородия почв Республики Беларусь в интенсивной системе земледелия внесли Т. Н. Кулаковская и И. М. Богдевич.

Анализ результатов полевых опытов с удобрениями, проведенных научными учреждениями и агрохимической службой республики, показал, что контролируемые агрохимические свойства дерново-подзолистых почв на 58–77 % определяют уровень урожайности зерновых культур на фоне полного минерального удобрения и на 20–50 % — величину прибавок урожая от азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Существующие градации диагностических признаков степени окультуренности почв нуждаются в периодическом уточнении в полевых экспериментах по мере введения в практику новых сортов и элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В диапазоне от минимальных до оптимальных значений каждого показателя установлена достоверная корреляция с величиной урожая сельскохозяйственных культур и определено его изменение на единицу измерения агрохимических свойств. Например, установлено, что прирост урожая по мере повышения содержания фосфора, калия и гумуса в почве постепенно снижается. Так, на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных, подстилаемых мореной почвах на каждые 10 мг/кг P_2O_5 в диапазоне 30–100 мг/кг продуктивность изучавшихся культур повышалась на 132 к. ед. на

1 га, в интервале 101–150 мг/кг P_2O_5 прирост составлял 108 к. ед. на 1 га, 151–200 мг/кг P_2O_5 — 101 к. ед., 200–250 мг/кг P_2O_5 — 68 к. ед. на 1 га.

Аналогично меняется прирост продуктивности культур при повышении содержания калия в 1 кг почвы в расчете на каждые 10 мг K_2O . На суглинистых почвах при содержании K_2O в диапазоне от 30 до 80 мг урожайность с 1 га повышалась на 122 к. ед.; 81–140 мг — на 98 к. ед.; 141–200 мг — на 70 к. ед. Продуктивность тех же культур по мере увеличения содержания гумуса на 0,1 % в диапазоне 1–2 % повышалась на 90 к. ед. с 1 га, а при дальнейшем повышении запасов гумуса — только на 25 к. ед.

Для количественной оценки плодородия почв Беларуси используется также комплексный показатель — индекс агрохимической окультуренности почв, где каждый из показателей (pH_{KCl} , содержание P_2O_5 , K_2O , гумуса) выражен в относительных величинах, а за единицу приняты средние оптимальные значения этих свойств почв. Относительные индексы ($I_{\text{отн}}$) каждого свойства рассчитываются по формуле

$$I_{\text{отн}} = \frac{X_{\text{факт}} - X_{\text{мин}}}{X_{\text{опт}} - X_{\text{мин}}},$$

где $X_{\text{факт}}$ — фактическое значение свойства по данным анализа; $X_{\text{мин}}$, $X_{\text{опт}}$ — соответственно минимальное и оптимальное значения показателей для данной почвы.

Для использования на практике установлены следующие минимальные агрохимические показатели минеральных почв: pH_{KCl} 3,5; по 20 мг/кг почвы P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову); 0,5 % гумуса. Для торфяных почв минимальный показатель содержания P_2O_5 и K_2O — 100 мг/кг почвы.

Если фактический показатель больше оптимального, то условно $I_{\text{отн}}$ этого свойства принимается равным 1. После определения относительных индексов всех показателей рассчитывается индекс окультуренности ($I_{\text{ок}}$) как среднее арифметическое относительных индексов:

$$I_{\text{ок}} = \left(I_{\text{pH}} + I_{\text{P}_2\text{O}_5} + I_{\text{K}_2\text{O}} + I_{\text{гум}} \right) : 4.$$

Индекс окультуренности почв может изменяться в большом диапазоне — от 0,2 до 1. Этот показатель удобен в расчетах и позволяет объективно сравнивать степень окультуренности почв.

По результатам 405 полевых опытов в Республике Беларусь повышение индекса окультуренности почв с 0,3 до 0,9 сопровождалось увеличением урожайности зерновых культур с 21–24 до 37–41 ц/га, картофеля — с 214 до 307 ц/га, т. е. продуктивность 1 га пашни повышалась с 32,8 до 53,7 к. ед.

Оценка почв в баллах может понижаться до 50 % при изменении индекса окультуренности почв от 1 до 0,2, для чего используются экспериментально установленные понижающие коэффициенты.

По степени окультуренности почвы принято делить на четыре группы: с очень низкой степенью окультуренности ($I_{ок} < 0,4$); низкой (0,41–0,6); среднеокультуренные (0,61–0,8) и высокоокультуренные (0,81–1,0) почвы.

Одним из важнейших характеристик почвенно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель Беларуси является их оценка, которая периодически проводится в республике. Балл плодородия почв с учетом корректировки материалов кадастровой оценки, проведенной в 2017–2020 гг. по видам земель в разрезе областей приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15. Балл плодородия почв по видам сельскохозяйственных земель*

Область	Почвы			
	пахотные и под постоянными культурами	улучшенные луговые	естественные луговые	всего сельскохозяйственные
Брестская	31,7	31,1	16,4	30,4
Витебская	28,5	27,1	12,3	26,2
Гомельская	28,3	28,5	14,6	27,0
Гродненская	35,4	30,4	15,0	32,8
Минская	33,3	29,6	13,8	31,3
Могилевская	31,5	29,1	14,4	28,7
Беларусь	32**	29	14	29

* С учетом корректировки 2017–2020 гг.

** Итоговые показатели оценки плодородия почв по республике проводятся с округлением до целых единиц.

Оценка плодородия пахотных земель в настоящее время в среднем по республике составляет 32 балла, улучшенных луговых — 29 баллов, естественных луговых — 14 баллов и в среднем всех сельскохозяйственных земель — 29 баллов.

Потенциально возможная урожайность зерновых на почвах с баллом 20 составляет 1,0 ц/балло-гектар, а на почвах с баллом 30 потенциальная урожайность составляет 45 ц/га (1,5 ц/балло-гектар), а на почвах с баллом 40 и выше возможно получение урожайности зерна 80 и более ц/га (2 ц/балло-гектар).

Низкий уровень естественного плодородия сельхозугодий, пестрота агрохимических свойств почв, неравномерные темпы окультуривания их по регионам делают необходимым целенаправленное управление повышением плодородия почв на основе моделирования. Оценка окультуренности почв по четырем показателям является лишь начальным этапом моделирования почвенного плодородия. По мере включения новых учитываемых свойств (содержание азота, микроэлементов, мощность перегнойного горизонта и др.) разрабатываются более сложные структурные модели.

С учетом особенности периода перехода к рыночной экономике, дефицита энергетических ресурсов, непростой экологической ситуации в республике, осложненной радиоактивным загрязнением почв, разработка моделей высокоплодородных почв в последние годы велась на основе концепции регулируемого (экологического и экономически обоснованного) повышения плодородия почв. Главные положения этой концепции:

- повышение плодородия почв на основе расширенного возврата органического вещества, макро- и микроэлементов на полях, где их содержание ниже оптимального уровня;
- поддержание уровня плодородия почв с оптимальными свойствами;
- ограничение применения удобрений на полях с избыточным содержанием элементов питания растений.

Система удобрений устанавливает дозы удобрений с учетом комплекса свойств почв, биологических особенностей возделываемой культуры и предшественников, исходя из получения не максимальной, а рациональной, экологически и экономически обоснованной урожайности, которая обычно находится на уров-

не 90–95 % от максимально возможной. Параметры плодородия регулируются на основе автоматизированной системы управления, включающей банк данных земельных ресурсов по результатам периодических почвенно-геоботанических (через 15 лет) и агрохимических (через 4–5 лет) обследований сельхозугодий, комплекса производственных задач по земельному кадастру и применению средств химизации, контурно-экологическим севооборотам и др.

Глава 4

ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВЫ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

4.1. Значение и отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию. Значение кальция и магния в жизни растений

Известкование кислых почв — важнейший агрохимический прием повышения эффективного и потенциального плодородия почв. Повышенная кислотность почв создает неблагоприятные условия для роста и развития культурных растений.

Негативное влияние повышенной кислотности обусловлено рядом причин, основные из которых: недостаток Ca^{2+} , повышенная концентрация токсичных Al^{3+} , Mn^{4+} , H^+ , пониженная доступность для растений элементов питания, неблагоприятные физические свойства почв.

Единственным радикальным путем устранения избыточной кислотности является известкование почв, которое способствует устранению токсичности ионов Al и Mn , улучшению условий гумусообразования и деятельности микроорганизмов; формированию структуры и более благоприятных физико-механических свойств почв; снижению поступления радионуклидов и тяжелых металлов; повышению качества урожая. Известь — превентивная мера от разрушения наиболее важной части — почвенного поглощающего комплекса. По дешевизне, эффективности и ресурсообеспеченности известкованию нет альтернативы.

Известкование — внесение в почву кальция и магния в виде карбоната, оксида или гидроксида для нейтрализации кислотнос-

ти — является главным и наиболее радикальным средством улучшения свойств кислых дерново-подзолистых почв. Этот прием оказывает многостороннее действие на улучшение агрохимических, агрофизических и биологических свойств почв, обеспечение растений кальцием и магнием, влияет на мобилизацию и иммобилизацию макро- и микроэлементов в почве, способствует созданию оптимальных физических, водно-физических, воздушных и других условий жизни культурных растений. В результате систематического известкования кислых почв в 1970—1985 гг. была оптимизирована кислотность на большей части пахотных и луговых угодий в республике. Начиная с 1986 г. и по настоящее время (2020 г.) показатель кислотности pH_{KCl} находится в интервале 5,81—5,94. Это позволило уменьшить дозы внесения известковых материалов и перейти на систему поддерживающего известкования.

По данным института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, средневзвешенный показатель pH_{KCl} в настоящее время на пахотных почвах составляет 5,81, на почвах улучшенных сенокосов и пастбищ — 5,86, а количество pH_{KCl} почв с менее 5,0 соответственно 9,7 % и 7,7 %.

Кальций необходим для нормального роста наземных органов и корней растений. При недостатке кальция и резком преобладании в почвенном растворе одновалентных катионов H^+ , Na^+ , K^+ или катионов Mg^{2+} нарушается физиологическая уравновешенность раствора, рост и развитие корней приостанавливаются, они становятся утолщенными, клеточные стенки их ослизняются, темнеют и теряют способность поглощать питательные элементы.

Кальций влияет на обмен веществ растений, передвижение углеводов, превращение азотистых веществ, ускоряет распад запасных белков семени при прорастании. Он играет важную роль в построении нормальных клеточных оболочек и установлении кислотно-щелочного равновесия. Растения содержат кальций в форме солей пектиновой кислоты, сульфата, карбоната, фосфата и щавелевокислого кальция.

Растения различаются по уровню потребления кальция. Зерновые культуры при урожайности 30—40 ц/га, корнеклубнеплоды 200—300 ц/га выносят с 1 га от 20 до 40 кг СаО; горох, вика, фасоль, гречиха, лен — 40—60 кг; картофель, люпин, кукуруза, сахарная свекла — 60—120 кг; клевер, люцерна — 120—250 кг; капуста — 300—

500 кг СаО. Больше всего кальция потребляют посеvy капусты, люцерны и клевера.

Магний входит в состав молекулы хлорофилла и принимает непосредственное участие в фотосинтезе. Хлорофилл содержит около 10 % магния от общего его количества в растениях. Он также входит в состав пектиновых веществ и фитина, который накапливается преимущественно в семенах. В отличие от кальция он более подвижен и может перераспределяться растением: из старых листьев он поступает в молодые, а после цветения из листьев в семена, где концентрируется в зародыше. Недосток магния больше сказывается на репродуктивных органах растений (семенах, корнях, клубнях), чем на вегетативных (соломе, ботве). Этот элемент играет важную роль в различных жизненных процессах: участвует в передвижении фосфора в растениях, активизирует некоторые ферменты (фосфатазу и др.), ускоряет образование углеводов. При достаточном содержании магния усиливаются восстановительные процессы, больше накапливается органических соединений — эфирных масел, жиров и др. Вынос его зависит от биологических особенностей сельскохозяйственных культур и составляет от 10—80 кг/га MgO. Больше его потребляют картофель, сахарная свекла, зернобобовые культуры, бобовые травы.

Большинство сельскохозяйственных культур положительно реагируют на известкование сильно- и среднекислых дерново-подзолистых почв и дают высокие прибавки урожая.

Из зерновых культур наиболее отзывчивы на известкование озимая и яровая пшеница, ячмень, из пропашных — сахарная свекла и кормовые корнеплоды, из кормовых — многолетние травы.

Известкование улучшает также качество растениеводческой продукции. Под влиянием известкования повышается содержание сахаров в корнеплодах, белка и жира в семенах, больше накапливается каротина и аскорбиновой кислоты в травах и корнеплодах. Известкование кислых почв положительно влияет на посевные качества семян. В последующем такие семена дают более высокие урожаи.

Для каждого вида растений существует наиболее благоприятный для роста и развития интервал реакции почвенной среды. Большинство культурных растений и почвенных микроорганизмов лучше развиваются при реакции почвенного раствора, близкой к нейтральной (pH_{KCl} 5,8—6,5).

По отношению к кислотности почвы и известкованию сельскохозяйственные культуры подразделяют на пять групп.

Первая группа — культуры, наиболее чувствительные к реакции среды пахотного горизонта: люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, озимая пшеница, капуста, лук, клевер, чеснок, райграс, ежа сборная, кострец, смородина. Они хорошо растут только при слабокислой или близко к нейтральной реакции почвенного раствора (pH_{KCl} 5,8–6,5) и очень хорошо отзываются на известкование даже на слабокислых почвах.

Вторая группа — культуры, чувствительные к повышенной кислотности и хорошо отзывающиеся на известкование: ячмень, яровая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, вика, кормовые бобы, клевер, огурец, салат, брюква, турнепс, лисохвост, овсяница луговая, мятлик, яблоня, слива, вишня, земляника. Они лучше растут и развиваются при слабокислой реакции (pH_{KCl} 5,3–6,0) и хорошо отзываются на известкование.

Третья группа — менее чувствительные к повышенной кислотности почв культуры, положительно отзывающиеся на известкование: рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, груша. Культуры этой группы могут удовлетворительно расти в широком диапазоне почв — от кислых до слабокислых (pH_{KCl} 4,5–6,0). Но наиболее благоприятны для их роста почвы со слабокислой реакцией (pH_{KCl} 5,5–6,0). Они положительно реагируют на известкование сильно- и среднекислых почв полными дозами.

Четвертая группа — культуры, легко переносящие умеренную кислотность, но плохо — нарушение соотношения между кальцием и калием, магнием и бором и требующие известкования только средне- и сильнокислых почв. К этой группе культур относятся: лен, картофель, люпин, морковь, томат, подсолнечник. Оптимальная реакция для них pH_{KCl} 4,8–5,7. Картофель и лен лучше произрастают на почвах с pH_{KCl} 5,0–5,5. Высокие дозы $CaCO_3$ при недостаточном внесении удобрений, прежде всего калийных, отрицательно влияют на качество продукции этих культур: картофель сильно поражается паршой, снижается содержание крахмала в клубнях, а лен заболевает кальциевым хлорозом, ухудшается качество волокна. Однако при известковании доломитовой мукой, которая содержит кальций и магний, внесении повышенных на 20 % доз калийных удобрений, применении борсодержащих удобрений негативного

влияния известкования на урожайность и качество этих культур можно избежать.

В *пятую группу* культур включают шавель, сераделлу, крыжовник, хорошо переносящие повышенную кислотность и слабо нуждающиеся в известковании. Оптимальная реакция для них составляет pH_{KCl} 4,5–5,0. Эти культуры чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве, особенно в начале роста, поэтому отрицательно реагируют на высокие дозы извести. Но при внесении небольших доз известковых удобрений, содержащих магний, при хорошей обеспеченности почв калием урожайность их не снижается и даже повышается.

Таким образом, большинство сельскохозяйственных культур отрицательно реагирует на кислотность почвы и положительно отзывается на известкование.

Негативное влияние кислых почв на растения складывается из прямого воздействия повышенной концентрации ионов водорода и многих косвенных факторов. Прямым следствием повышенной кислотности почвенного раствора является ухудшение роста и ветвления корней, уменьшение проницаемости клеток корня. Из-за этого затрудняется использование растениями воды и питательных элементов почвы, нарушается обмен веществ в растениях, ослабляется синтез белков, подавляются процессы превращения простых углеводов (моносахаров) в сложные органические соединения. Особенно чувствительны растения к повышенной кислотности почвы в первые фазы роста, сразу после прорастания.

Косвенное воздействие повышенной кислотности почвы многосторонне. Коллоидная часть кислых почв бедна кальцием и другими основаниями, а насыщаясь водородом, минеральные коллоидные частицы постепенно разрушаются. Этим объясняется малое содержание в кислых почвах коллоидной фракции, их неблагоприятные физические и физико-химические свойства, плохая структура, низкая емкость поглощения и слабая буферность.

В кислых почвах подавляется деятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно свободноживущих азотфиксирующих, а также клубеньковых бактерий, для развития которых наиболее благоприятна близкая к нейтральной, нейтральная и слабощелочная реакция с pH_{KCl} 6,5–7,5, а образование доступных для растений форм азота, фосфора и других питательных элемен-

тов вследствие снижения минерализации органического вещества протекает слабо. В то же время кислая среда способствует развитию в почве грибов, среди которых много паразитов и возбудителей различных болезней растений.

Отношение почвенных микроорганизмов к реакции почвенной среды приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Оптимальная реакция среды для различных почвенных микроорганизмов

Основные физиологические группы микроорганизмов	Микроорганизмы	Оптимальные значения pH	Нижняя граница pH
1	2	3	4
Азотфиксаторы, связывающие молекулярный азот воздуха	Симбиотические (клубеньковые):		
	люцерны	6,8–7,2	4,9–5,0
	клевера	6,8–7,2	4,2–4,7
	гороха и вики	6,5–7,0	4,0–4,7
	люпина и сераделлы	5,5–6,5	3,2–3,5
Свободноживущие:	азотобактер	6,5–7,5	5,5–6,0
	клубоцидум	5,0–7,0	4,7–5,0
Микрофлора, разлагающая растительные остатки	Грибы	4,0–5,0	1,5–2,0
	Маслянокислые бактерии	6,5–7,0	4,5–5,5
	Целлюлозоразрушающие	6,2–7,2	–
	Аммонификаторы	6,2–7,0	–
Микрофлора, разлагающая растительные остатки	Денитрификаторы	7,0–8,0	6,0–6,2
Микрофлора, минерализующая гумусовые вещества	Нитрификаторы	6,5–7,5	4,8–5,0
	Фосформобилизующие	6,5–7,5	–

Отрицательное действие повышенной кислотности в значительной степени связано с увеличением подвижного алюминия и марганца в почве. Особенно чувствительны к высокой концентрации подвижного алюминия клевер, люцерна, озимые пшеница и рожь (при перезимовке), свекла, лен, горох, гречиха, ячмень. Эти культуры угнетаются при содержании в 1 кг почвы свыше 20–30 мг алюминия. Подвижные формы алюминия и железа связывают

усвояемые формы фосфатов, образуя нерастворимые и труднорастворимые фосфаты полторных оксидов, поэтому при большом содержании первых ухудшается питание растений фосфором.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, он переходит в труднорастворимые формы, и его может не хватать для нормального роста растений, особенно бобовых. В почвах с кислой реакцией, особенно песчаных и супесчаных, мало легкорастворимых соединений кальция и магния, затруднено поступление их в растение, поэтому нарушается питание этими важными элементами. Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и повышения эффективности удобрений необходимо известкование кислых почв.

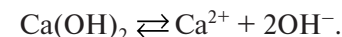
4.2. Влияние известковых удобрений на свойства, питательный режим почвы и урожайность сельскохозяйственных культур

Известь оказывает многостороннее положительное влияние на почву. Она нейтрализует почвенную кислотность, улучшает агрохимические, агрофизические показатели и биологические свойства почвы.

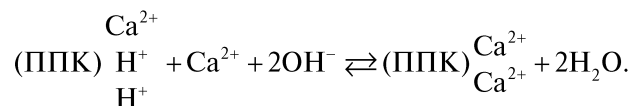
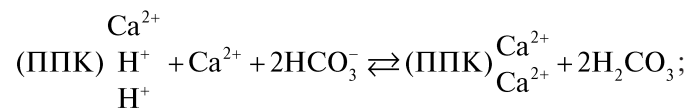
Основное нейтрализующее почвенную кислотность вещество (CaCO_3) практически нерастворимо в воде (1 весовая единица карбоната растворяется в 100 тыс. весовых единиц воды). Внесенный в почву карбонат кальция взаимодействует с угольной кислотой, находящейся в почвенном растворе, и нейтрализует ее. При этом нерастворимый в воде карбонат кальция или магния постепенно превращается в бикарбонат кальция (или магния), растворимый в воде:



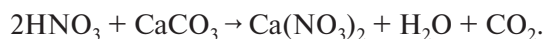
Бикарбонат кальция диссоциирует на ионы Ca^{2+} и 2HCO_3^- и частично подвергается гидролизу:



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



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



Таким образом, при внесении известковых удобрений устраняется актуальная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышаются содержание кальция в почвенном растворе и степень насыщенности почвы основаниями. Устраняя кислотность, известкование оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы, создает благоприятную среду для роста растений и жизнедеятельности микроорганизмов. Кальций, внесенный с известью, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает ее водопрочность. После известкования улучшаются воздушный и водный режимы почвы, уменьшается возможность образования корки и облегчается обработка тяжелых почв. Снижается содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, они переходят в неактивное состояние и не оказывают вредного влияния на растения.

После известкования улучшается жизнедеятельность бактерий, разлагающих органические фосфаты почвы, создаются благоприятные условия для деятельности силикатных бактерий, разлагающих труднодоступные для растений калийсодержащие минералы.

Известкование представляет собой мощный фактор мобилизации питательных веществ почвы. С одной стороны, это объясняется интенсивной деятельностью различных групп микроорганизмов, с другой — переходом труднодоступных соединений в легкодоступные под влиянием изменения реакции среды.

Под влиянием известкования улучшается азотное питание растений. Сильное действие оказывает известкование на такие организмы, как нитрификаторы, клостридиум и целлюлозоразрушающие бактерии. В результате этого улучшается приживаемость клубеньковых бактерий и увеличивается общая их численность. Количество же различных грибов, наоборот, уменьшается, например, погибает возбудитель килы у крестоцветных, фитофтороз у картофеля.

Как уже отмечалось, при наличии подвижных полуторных оксидов (алюминия и железа) в кислой почве преобладают труднодоступные фосфаты железа и алюминия. При известковании алюминий и железо переводятся в неподвижное состояние и фосфор связывается преимущественно в фосфаты кальция, более доступные для растений.

Под влиянием известки значительно увеличиваются подвижность фосфатов почвы и коэффициент использования их растениями. Поэтому при известковании почвы дозы внесения фосфорных удобрений можно несколько уменьшить.

В связи с интенсификацией микробиологической деятельности увеличивается содержание нитратов в почве. В растениях при этом накапливается большее количество азота.

При известковании улучшается и калийное питание растений в связи с мобилизацией труднорастворимых соединений калия. Содержание калия в растениях под влиянием известкования увеличивается незначительно, а иногда даже уменьшается. Объясняется это тем, что мобилизация калия в почве при внесении известки идет не так интенсивно, как мобилизация азота и фосфора.

Кроме того, при внесении больших доз известки может проявиться антагонизм кальция и калия. Таким образом, создается широкое соотношение между азотом и калием, а также между кальцием, фосфором, магнием и калием. Поэтому при известковании нужно вносить достаточное количество калийных удобрений для уравновешивания питательного раствора и для более полного ис-

пользования азота и фосфора. В результате известкования улучшается питание кальцием, который очень сильно вымывается из кислой почвы, вследствие чего улучшается развитие корневой системы растений.

Известкование также способствует переводу труднодоступных соединений молибдена в усвояемую форму, поэтому молибденовые удобрения должны применяться в первую очередь на кислых почвах.

Известкование способствует мобилизации запасов магния в суглинистых почвах. В легких почвах обменного магния очень мало, поэтому при известковании таких почв необходимо вносить магниесодержащие удобрения, например, доломитовую муку.

Многочисленные данные подтверждают, что магниевые удобрения важны и при известковании суглинистых почв при возделывании на них бобовых, пропашных, технических культур, гречихи. К недостатку бора чувствительны многие культуры: сахарная свекла поражается гнилью сердечка, картофель — паршой, лен — бактериозом, снижается выход и качество семенной продукции у бобовых, овощных, гречихи, замедляется синтез углеводов и т. д. По этой причине эффективность известкования снижается. Вот почему под культуры, чувствительные к недостатку бора, на фоне известки должны вноситься борные удобрения. Они сильно повышают выход продукции и ее качество.

Борные удобрения устраняют возникновение парши и пятнистости у картофеля, бактериоза у льна и гнили сердечка у свеклы. Под влиянием бора повышается абсолютный вес семян и их сортовые качества, идет более интенсивное накопление каротина, увеличивается содержание хлорофилла в растениях, а фосфора, азота, кальция и магния уменьшается. Происходит более экономное расходование питательных элементов для образования органического вещества. При устранении кислотности почвы некоторые культуры могут испытывать недостаток марганца (сахарная свекла), вместе с тем в большинстве кислых почв Нечерноземной зоны известкованием устраняется вредное действие имеющегося здесь избыточного количества подвижного марганца. Кроме того, при известковании снижается подвижность меди и цинка. Поэтому на нейтральных и слабощелочных почвах растения ощущают недостаток этих элементов.

При известковании становится актуальным применение кобальтовых удобрений, которые способствуют повышению урожайности многих сельскохозяйственных культур (клевер, лен, озимая рожь, ячмень) и усилению действия известкования. Известь увеличивает активность почвенных ферментов — амилазы, уреазы, некоторых протеаз. Все это делает известкование чрезвычайно эффективным приемом химической мелиорации кислых почв.

Действие известки не исчерпывается влиянием на агрохимические свойства почвы и ее пищевой режим. В результате известкования коренным образом изменяются и физические свойства почвы. Прежде всего кальций, внесенный с известью, улучшает микроструктуру почвы, делает коллоиды более водопрочными, причем часто количество водопрочных агрегатов возрастает с увеличением доз известки. Понижается плотность почвы, повышается влагоемкость и гигроскопичность. При этом изменяется аэрация, почва быстрее прогревается, улучшается водный режим. Под влиянием известкования легкие почвы становятся более связными, а тяжелые — более рыхлыми, что уменьшает тяговое усилие при их обработке на 10–15 %.

Известкование способствует развитию крепких, здоровых растений, способных при повреждениях вредителями и болезнями быстрее оправиться и дать хороший урожай. В результате интенсивного роста культурных растений энергично подавляются сорняки, на которых поселяются вредные насекомые и болезни. Видовой состав сорняков при известковании менее разнообразен, так как многие из них (щавелек, хвощ, торица, пикульник, луговой мятлик и др.) предпочитают кислую реакцию среды.

В связи с изменением реакции среды известкование кислых дерново-подзолистых почв по-разному проявляется на урожае сельскохозяйственных культур (табл. 4.2).

Известкование оказывает большое влияние и на эффективность удобрений. По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, на дерново-подзолистых почвах с $pH_{KCl} < 5,5$ 1 кг азота давал прибавку 7,6 кг зерна ячменя, 39 кг — клубней картофеля, 31 кг — корнеплодов сахарной свеклы, а на почвах с $pH_{KCl} 5,6–6,0$ — соответственно 20,2, 53 и 107 кг.

Таблица 4.2. Нормативы прибавок урожая сельскохозяйственных культур от внесения извести

Культура	Исходная величина рН	Прибавка урожая, ц/га			
		суглинистые почвы		супесчаные почвы	
		всего	на 1 т CaCO ₃	всего	на 1 т CaCO ₃
1	2	3	4	5	6
Озимая пшеница	4,5 и ниже	5,1	0,64	4,9	0,82
	4,6–5,0	2,9	0,45	2,7	0,54
	5,1–5,5	2,2	0,44	1,8	0,45
Яровая пшеница	4,5 и ниже	2,9	0,36	3,0	0,50
	4,6–5,0	1,8	0,28	1,7	0,34
	5,1–5,5	0,9	0,18	0,8	0,20
Озимая рожь	4,5 и ниже	3,0	0,38	2,7	0,45
	4,6–5,0	2,1	0,32	1,5	0,30
	5,1–5,5	1,1	0,22	0,9	0,23
Ячмень	4,5 и ниже	4,4	0,55	4,3	0,72
	4,6–5,0	3,0	0,46	2,8	0,56
	5,1–5,5	2,2	0,44	1,8	0,45
Овес	4,5 и ниже	2,8	0,35	3,0	0,50
	4,6–5,0	2,3	0,35	2,3	0,46
	5,1–5,5	1,4	0,28	1,3	0,33
Зерновые в целом	4,5 и ниже	3,7	0,46	3,6	0,60
	4,6–5,0	2,6	0,40	2,3	0,46
	5,1–5,5	1,7	0,34	1,5	0,38
Картофель	4,5 и ниже	19	2,4	17	2,8
	4,6–5,0	15	2,3	14	2,8
	5,1–5,5	6	1,2	5	1,3
Сахарная свекла	4,5 и ниже	80	10,0	70	11,7
	4,6–5,0	60	9,2	50	10,0
	5,1–5,5	35	7,0	30	7,5
Кормовые корнеплоды	4,5 и ниже	120	15,0	110	18,3
	4,6–5,0	50	7,7	45	11,3
	5,1–5,5	15	3,0	15	3,8
Кукуруза (зеленая масса)	4,5 и ниже	70	8,8	60	10,0
	4,6–5,0	40	6,2	30	6,0
	5,1–5,5	20	4,0	15	3,8
Клевер (сено)	4,5 и ниже	21	2,6	17	2,8
	4,6–5,0	13	2,0	11	2,2
	5,1–5,5	7	1,4	5	1,3
Многолетние злаковые травы (сено)	4,5 и ниже	18	2,3	15	2,5
	4,6–5,0	10	1,5	9	1,8
	5,1–5,5	7	1,4	6	1,5

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Однолетние травы (сено)	4,5 и ниже	11	1,4	9	1,5
	4,6–5,0	7	1,1	6	1,2
	5,1–5,5	5	1,0	5	1,3
Все культуры (кормовые единицы)	4,5 и ниже	6,3	0,79	5,6	0,93

Таким образом, известкование кислых почв в сочетании с применением удобрений является не только непременным условием получения высоких урожаев на кислых почвах, но и мероприятием, способствующим рациональному, более экономному использованию минеральных и органических удобрений.

В целом на пахотных землях Республики Беларусь с учетом структуры посевных площадей прибавка урожайности сельскохозяйственных культур при pH_{KCl} 4,1–4,5 составляет 6,3 ц/га к. ед. на суглинистых и 5,6 ц/га на супесчаных почвах, при pH_{KCl} 4,6–5,0–4,0 и 3,5 ц/га, при pH_{KCl} 5,1–5,5 – 2,3 и 1,9 ц/га. Окупаемость 1 т CaCO₃ составляет 0,93, 0,70 и 0,48 ц/га к. ед. соответственно.

Известкование дает наибольшую отдачу при одновременном внесении органических и минеральных удобрений. На фоне известкования в навозе усиливаются процессы разложения органического вещества и перехода элементов питания в доступную для растений форму.

Известкование кислых почв улучшает качество сельскохозяйственной продукции: увеличивает содержание крахмала в клубнях картофеля на 0,5–2 % и более, сахара в корнеплодах сахарной свеклы на 0,6–1 %, сырого протеина в зерне зерновых культур на 0,5–1,1 %. Качество продукции возрастает также за счет иммобилизации в почве токсических элементов и радионуклидов.

4.3. Формы известковых удобрений

Известковые удобрения делятся: 1) на твердые известковые породы, требующие размола или обжига; 2) мягкие известковые породы, не требующие размола; 3) отходы промышленности, богатые известью.

По содержанию CaO и MgO твердые породы делятся на следующие группы: известняки — 55–56 % CaO и до 0,9 % MgO; известняки доломитизированные — 42–55 % CaO и до 9 % MgO; доломиты — 30–32 % CaO и 18–20 % MgO. По содержанию глины, песка и других примесей твердые породы делятся на чистые известковые породы — не более 5 % примесей (известняк, доломит); мергелистые или песчанистые известковые породы — 5–25 %; мергели или песчаные известковые породы — от 25 до 50 % глины или песка.

К мягким известковым породам относятся известковые туфы — 80–98 % CaCO₃; гажа (озерная известь) — 80–95 % CaCO₃ и др. Из промышленных отходов сланцевая зола содержит 30–50 % CaO, 1,5–4,0 % MgO, а также другие элементы; дефекат — 60–75 % CaCO₃, 10–15 % органического вещества, а также N, P₂O₅, K₂O.

На территории Беларуси известно более 470 месторождений карбонатных пород с общим запасом около 2,5 млрд т.

Молотые доломитизированные известняки и доломиты. В составе их наряду с карбонатом кальция содержится и карбонат магния. Частицы их менее растворимы и медленнее взаимодействуют с почвой, чем частицы одинакового размера чистой известняковой муки, состоящей в основном из CaCO₃.

Известняковая мука, полученная размолом доломитизированных карбонатных пород и доломитов, благодаря наличию магния для песчаных и супесчаных почв ценится выше, чем известковые удобрения, не содержащие магния. Доломитизированные известняки и доломиты обладают повышенной твердостью и малой растворимостью (не вскипают от разбавленного раствора холодной соляной кислоты).

Наиболее рациональным источником для известкования в Республике Беларусь служат доломиты месторождения Руба (Витебская область).

Для известкования кислых почв сельскохозяйственных земель используются материалы, которые в соответствии с Законом Республики Беларусь от 25 декабря № 77-3 «О карантине и защите растений» прошли государственную регистрацию и включены в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь». Согласно «Инструкции по известкованию кислых почв Респуб-

ки Беларусь» 2019 г. включены следующие виды известковых материалов: доломитовая мука, карбонатный сапропель, известняк, мел и дефекат, могут использоваться и другие известковые материалы.

Карбонатный сапропель, известняк и мел применяются для известкования сельскохозяйственных земель в районе их добычи.

Мел — наиболее распространенная в Республике Беларусь карбонатная порода, почти всецело состоящая из CaCO₃ (63–91 % на сухое вещество). Залегает по обрывистым берегам Днепра, Сожа и их притоков. Коренные залежи мела часто обнажаются на глубину 10 м и более на больших расстояниях. В ряде районов встречаются отложения во вторичном залегании в виде отторженцев. Здесь мел нередко залегает на поверхности или прикрыт слоем почвы в 20–50 см. Мел от других твердых карбонатных пород отличается большей мягкостью и легче поддается размолу.

Под влиянием увлажнения мел сравнительно легко расплывается в почве, и его частицы размером 3–5 мм не уступают по нейтрализующей способности тонко измельченным породам. В Беларуси встречаются месторождения мела-рухляка, залегающего толстым слоем на плотной меловой породе. Рыхлый мел — продукт выветривания верхних слоев мелового отложения — является дешевым материалом для известкования кислых почв.

Согласно техническим условиям мел должен содержать не менее 80 % CaCO₃, частиц крупнее 5 мм — не более 20 %, влажность — не более 15 %. Он отличается от известняков большей мягкостью, легче размалывается, действует быстрее молотого известняка и поэтому эффективнее последнего, особенно в первый год. Его целесообразно использовать на почвах, обеспеченных обменным магнием.

Доломитовая мука. Получают размолом доломита, который содержит 25–32 % CaO и 17–21 % MgO (в среднем 95 % действующего вещества в пересчете на CaCO₃), влажность — менее 1 %. Это основной известковый мелиорант в республике, производимый Витебским ОАО «Доломит». Доломитовая мука является очень хорошим известковым удобрением для многих сельскохозяйственных культур (свекла, картофель, лен, клевер, люцерна, гречиха, морковь, лук и др.). Особенно эффективно ее применение на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах.

В условиях слабокислой реакции доломитовая мука в год внесения взаимодействует с почвой медленнее, чем другие известковые удобрения. Но уже на второй и третий год ее действие проявляется в полной мере. Наиболее целесообразная схема ее применения: завод — железнодорожная цистерна (цементовоз) — прирельсовый склад силосного типа на базах снабжения Райагросервис — АРУП-8, РУП-8 — поле. Этот вид мелиоранта универсален, в первую очередь используют его для известкования почв I и II группы кислотности, слабообеспеченных обменным магнием. Основное известковое удобрение в Республике Беларусь.

Сыромолотый доломит. В последнее десятилетие во странах мира для известкования кислых почв в основном используют сыромолотые известковые породы, чаще, известняки, для получения которых требуется более низкие затраты. Одним из путей в Беларуси сокращения материальных и финансовых затрат может быть использование сыромолотого доломита. Содержит не менее 90 % CaCO_3 , не более 10 % влаги. Из-за повышенной влажности внесение сыромолотого доломита проводится в безморозный период центробежными разбрасывателями. Это удобрение целесообразно использовать в районах Витебской области, прилегающих к заводу «Доломит», а также в районах, имеющих подъездные железнодорожные пути на базах снабжения «Райагросервис». Получают сыромолотый доломит размолотом доломита, исключается стадия сушки и помола, идет только стадия дробления и сортировки. Дробленный доломит, пропущенный через сито 5 мм в дальнейшем называют сыромолотым доломитом.

Согласно ГОСТ 14050-93, класс 2, марка С, суммарная массовая доля карбонатов и магния — 94,55 % (при норме по ГОСТ — не менее 80 %). Зерновой состав — фракции 10 мм — 0 %, 5 мм — 2,47 % (не более 5 %), 3 мм — 16,05 % (не более 20 %), 1 мм — 39,57 % (не более 40 %), массовая доля влаги — 11,79 % (не более 12,0 %), показатель АДВ — 66,1 % (не менее 60 %), удельная эффективная активность естественных радионуклидов — 26,0 Бк/кг (не более 125 Бк/кг).

Производство сыромолотого доломита осуществляется на ОАО «Доломит» с 2019 года. На действующем оборудовании в 2020 году выпущено 40 тыс. т, а в 2021 — 2025 гг. по 80 тыс. т (ежегодно). Дозы внесения сыромолотого доломита в физическом

весе выше, чем доломитовой муки, в среднем по всем областям на 2,1 т/га за счет более высокой влажности.

Известняковая мука. Получается при размолке известняков. Содержание углекислого кальция и магния в перерасчете на CaCO_3 согласно государственному стандарту должно быть не менее 85 %, влажность — 1,5–2 %, содержание частиц размером 0,25 мм — не менее 60 %, больше 1 мм — не более 10 %. По влиянию на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на почвах, хорошо обеспеченных магнием, она приближается к доломитовой муке, на почвах, слабо обеспеченных магнием, значительно уступает.

Жженая (комовая) известь (CaO) с содержанием CaCO_3 больше 170 % — сильно- и быстродействующий известковый материал. При обжиге карбонатной породы углекислые соли кальция и магния разлагаются до оксидов кальция и магния с выделением углекислоты. Полученный продукт и называют жженой, или комовой, известью. Чтобы применить ее как известковое удобрение, требуется размол, что делать невыгодно. Поэтому перед внесением ее подвергают гашению (обливают водой). При гашении известь переходит в гидрат оксида кальция и магния — $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, рассыпаясь в порошок (пушенку). Реакция протекает с выделением тепла.

Гашеная известь (пушенка) содержит 135 % в пересчете на CaCO_3 . Для получения пушенки приходится добавлять к комовой извести 70–100 % воды от ее веса, хотя по теоретическим расчетам требуется всего 32,5 %. Это обусловлено тем, что большая часть воды при повышении температуры испаряется, не успевая вступить в химическую реакцию. Комовую известь можно гасить в поле путем присыпки ее влажной почвой. Такой способ гашения не позволяет, однако, получить материал необходимого качества, так как часто остается мажущаяся масса.

Гашеная известь, являясь более растворимой, чем углекислая, быстрее взаимодействует с почвой и поэтому в первый год после внесения сильнее повышает урожай растений, чем известняковая мука. Уже на второй год разница в действии между ними сглаживается и в последующие годы сравнивается.

Гашеную и негашеную известь следует заделывать в почву не позднее чем за полторы–две недели до посева (в противном случае возможны ожоги корней молодых растений).

Известковые туфы (ключевая известь) — мягкая карбонатная порода, содержащая более 75 % CaCO_3 (часто 90–98 % на сухой вес), до 5 % MgO и до 0,5 % P_2O_5 . В сухом состоянии туф имеет белесый, серый или желто-бурый цвет. Окраска туфов в ржавые цвета различной интенсивности обусловлена соединениями железа. Туфы могут иметь различную структуру — мелкокомковатую, рассыпчатую, среднекомковатую, крупно- и прочнокомковатую и порошкововидную. Залегают туфы обычно в пониженных местах: в долинах рек и ручьев, в местах выхода ключей, иногда на дне балок и крупных ложбин и у подошвы склонов.

Важным свойством большинства известковых туфов является их высокая эффективность без особой доработки. В этом отношении они не уступают или мало уступают молотому известняку. Все же для усиления действия их желательно просеять через сито с отверстиями 3–5 мм.

Озерная известь (гажа) — карбонатная порода, отложенная на дне засохших, замкнутых водоемов из грунтовых вод, богатых кальцием.

Свойства и условия залегания озерной извести могут быть различными. В связи с этим различают: а) озерную известь — породу, отложенную на дне озера с открытой водной поверхностью; б) болотную известь — породу, залегающую под торфом. В некоторых местах озерную известь называют озерным мергелем или известковым сапропелем. Если озерная известь подвергалась выветриванию и подсушиванию с потерей органического вещества, то ее называют гажей.

Озерная известь не содержит твердых включений и перед внесением в почву не требует просеивания через грохот. В ней содержится 60–97 % CaCO_3 , 0,2–1,1 % MgO , 0,17–1,62 % K_2O , 0,02–0,22 % P_2O_5 , до 0,4 % SO_3 , имеются и другие полезные соединения.

Из примесей в гаже встречаются песок, глина и органические вещества (сапропель, торф). При значительном содержании сапропеля озерную известь следует вносить в почву во влажном состоянии. Примесь торфа не ухудшает физических свойств озерной извести. В зависимости от содержания органического вещества и железа озерная известь может иметь темную, бурую, серую и белую окраску. В большинстве случаев гаж напоминает мел с сероватой окраской и отличается большой рыхлостью.

Мергель содержит 25–75 % CaCO_3 и глины с песком 20–40 %. Действует медленно, целесообразно применять на легких почвах.

Торфотуфы и омергелеванный торф в нечерноземной полосе встречаются часто в заторфованных долинах рек и ручьев, по днищам оврагов и ложбин, по окраинам торфяников низинного типа, питающихся жесткими грунтовыми водами. В торфотуфах углекислая известь редко пропитывает всю толщу торфа, чаще она образует в нем прослойки толщиной в несколько сантиметров.

Обычно известь в торфе откладывается в его нижних слоях на глубине 0,5–2,0 м и более от поверхности и реже на глубине 30–40 см. Содержание CaCO_3 в торфотуфах составляет от 25 до 75 %. При высыхании торфотуф покрывается белым налетом углекислого кальция. Если содержание CaCO_3 в торфотуфе составляет менее 25 % на сухой вес (от 5 до 25 %), то такой известковый материал принято называть омергелеванным торфом. В одной и той же залежи верхний слой может быть представлен омергелеванным торфом, а нижний — торфотуфом или известковым туфом. Торфотуфы и омергелеванный торф — очень ценные местные удобрения, так как при внесении их в почву достигается не только устранение избыточной кислотности, но и обогащение почвы органическим веществом. Омергелеванный торф можно применять в количестве от 20 до 40 т/га, не опасаясь переизвесткования почвы. При применении же торфотуфа следует учитывать содержание в нем углекислой извести и соответственно этому установить норму его внесения в почву.

Сапропелевые известняки — илистые отложения на дне озера, обогащенные карбонатом кальция и органическим веществом. Эти известняки нередко залегают под слоем гаж или торфотуфа на глубине более 1–2 м. Сапропелевые известняки являются хорошим материалом для известкования почв. Применяются во влажном состоянии.

Карбонатный сапропель содержит более 30 % CaO . По эффективности при известковании не уступает доломитовой муке и мелу, особенно на супесчаных и песчаных дерново-подзолистых почвах. Разрешен к применению в Республике Беларусь.

Известковые отходы промышленности. Отходы промышленности, содержащие известь, являются дешевым материалом для известкования кислых почв.

Эффективность известковых отходов промышленности нередко является более высокой, чем известняковой муки. Так, например, доменные и мартеновские шлаки, содержащие наряду с кальцием магний, фосфор, марганец и другие элементы питания, дают более высокие прибавки урожая, чем известняковая мука. В шлаках, кроме того, содержится кремниевая кислота, которая снижает содержание подвижного алюминия в почве, что обеспечивает лучшую усвояемость фосфора растениями.

В ряде отходов промышленности могут содержаться вредные для растений соединения (сульфиды и др.), которые до внесения в почву требуют доработки. Однако большинство отходов можно применять без предварительной доработки, и только некоторые из них требуют размола.

Дефекат — отходы свеклосахарных заводов. Он состоит в основном из CaCO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и содержит до 40 % CaO . Кроме этого в нем имеется 0,2–0,7 % N; 0,2–0,9 % P_2O_5 ; 0,3–1 % K_2O , а также 10–15 % органического вещества. Дефекат должен содержать не более 30 % влаги и не менее 60 % CaCO_3 . Целесообразно его применять в районах, прилегающих к сахарным заводам. Для его внесения используются машины центробежного типа. Рекомендуется применять в безморозный период на сильно-, среднекислых и высокообеспеченных магнием почвах, при залужении и перезалужении кормовых угодий. На сахарных заводах Беларуси накапливается более 120 тыс. т дефеката, использование которого позволяет не только проводить известкование, но и решать экологические проблемы утилизации отходов.

Сланцевая зола — это сухой пылевидный материал с содержанием действующего вещества (CaCO_3) 60–70 %.

Химический состав сланцевой золы и ее физические свойства могут быть довольно различными в зависимости от происхождения сланцев, способа сжигания и удаления золы. При внесении в почву 5–6 т/га сланцевой золы одновременно вносится 60–120 кг K_2O . Поэтому культура, под которую вносится зола, не нуждается обычно в дополнительном внесении калийных удобрений. Содержащиеся в золе микроэлементы оказывают положительное действие на урожай сельскохозяйственных культур. Нейтрализующая способность сланцевой золы эквивалентна 65–92 % CaCO_3 . Кальций и магний содержатся в ней в форме кремнекислых и углекислых солей

(частично в виде оксидов и гидроокиси). Фосфорная кислота золы малодоступна, а ее магний, кальций и сера легко усваиваются растениями. Являясь комплексным, преимущественно известковым удобрением, сланцевая зола обладает высокой эффективностью. Она нейтрализует почвенную кислотность несколько медленнее и слабее, чем обычные известковые удобрения.

Пыль печей и цементных заводов с содержанием CaCO_3 свыше 60 % обычно применяется в хозяйствах, прилегающих к цементным заводам. Эти известковые материалы вносят машинами с закрытыми емкостями и с пневмоустройствами.

4.4. Дозы, сроки и способы внесения извести

Значение известкования значительно возрастает при систематическом применении повышенных доз физиологически кислых минеральных удобрений.

Эффективность известкования зависит от кислотности почв: чем выше кислотность, тем острее потребность в известковании и больше прибавки урожая. О том, что почва кислая, ориентировочно можно определить по некоторым внешним признакам. Кислые сильноподзолистые почвы обычно имеют белесый оттенок, ярко выраженный подзолистый горизонт, достигающий 10 см и более. На повышенную кислотность почвы и нуждаемость ее в известковании указывают также плохой рост и сильное изреживание посевов клевера, люцерны, озимой пшеницы при перезимовке, обильное развитие устойчивых к кислотности сорняков: щавелька, пикульника, торицы полевой, лютика ползучего, белоуса, щучки, хвоща и др. Большое количество лебеды и крапивы указывает на то, что почва не только кислая, но и богата элементами питания. Указанные признаки дают лишь приблизительное представление о кислотности почвы и совершенно не могут служить основанием для установления доз извести. Более точно степень нуждаемости почв в известковании можно установить после определения ее гидролитической кислотности, а также степени насыщенности основаниями.

Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена и по обменной

кислотности (pH_{KCl}) с учетом типа и гранулометрического состава почв. Оптимальные интервалы кислотности (pH_{KCl}) для возделывания сельскохозяйственных культур определяются согласно табл. 4.3.

Таблица 4.3. Оптимальные интервалы кислотности для возделывания сельскохозяйственных культур (pH_{KCl})

Почвы	В среднем	В том числе по типам севооборотов		
		со льном, картофелем, люпином, овсом, озимой рожью	зерно-травяно-пропашные с кукурузой, корнеплодами	зерно-свекловичные, прифермские (клевер, люцерна), овощекормовые
Дерново-подзолистые:				
песчаные	5,3–5,8	5,3–5,5	5,5–5,8	5,5–5,8
супесчаные	5,5–6,2	5,5–5,8	5,6–6,0	5,8–6,2
суглинистые	5,5–6,7	5,5–6,0	5,1–6,5	6,5–6,7
Торфяные	5,0–5,3	–	–	–
Минеральные почвы сенокосов и пастбищ	5,8–6,2	–	–	–

Оптимальное значение показателя кислотности для пахотных дерново-подзолистых почв дифференцируется в зависимости от гранулометрического состава и составляет в целом по республике pH_{KCl} 6,0–6,2. В настоящее время средневзвешенный показатель кислотности (pH_{KCl}) составляет 5,81. В почвах районов, загрязненных стронцием-90, где кальций является наиболее существенным его антагонистом, кислотность почв доведена до оптимальных значений. Можно считать, что в настоящее время достигнута нижняя граница оптимального показателя в Республике Беларусь и задача состоит в том, чтобы поддерживать его на достигнутом уровне.

В Республике Беларусь работы по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель проводятся в соответствии с проектно-сметной документацией (ПСД) на известкование кислых почв. Разработка ПСД на работы по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель включает составление годового плана известкования кислых почв сельскохозяйственных земель с учетом 4-летней цикличности, определение потребности в известковых материалах, расчет стоимости работ по известко-

ванию и составление сметно-финансового отчета, составление пояснительной записки, согласование и утверждение проекта по известкованию. Почвенно-агрохимическое обследование сельскохозяйственных земель проводится раз в четыре года. Для обоснования доз и форм известковых материалов обязательным является определение гранулометрического состава почвы, содержание гумуса в почве, реакции почв рН в KCl, содержание обменных форм кальция и магния. План и сметно-финансовый отчет составляется на основе агрохимического паспорта, картограммы кислотности со схемой паспортизуемых участков, наличия ресурсов известковых материалов.

При составлении проекта по известкованию в первую очередь включаются почвы I и II групп кислотности, затем III и IV. При определении потребности в известковых материалах используются средние дозы $CaCO_3$ (т/га) по группам кислотности. Известкование кислых почв сельскохозяйственных земель включает услуги по переработке доломитовой муки, дефеката, карбонатного сапропеля и мела, их погрузки, перевозке и внесению.

Почвы, сильно нуждающиеся в известковании, известкуют в первую очередь, средненьуждающиеся — во вторую и слабо нуждающиеся — в третью очередь. На почвах I и II групп кислотности проводится мелиоративное (основное), на почвах III и IV групп — поддерживающее известкование, рассчитанное на нейтрализацию воздействия подкисляющих факторов при относительно благоприятном исходном уровне кислотности по типам севооборотов в зависимости от их насыщения кальциефобными и кальциефильными культурами.

Известкованию подлежат следующие сельскохозяйственные земли: дерново-подзолистые песчаные, супесчаные почвы со степенью кислотности pH_{KCl} пахотного горизонта 5,5 и ниже, суглинистые и глинистые — pH_{KCl} 6,0 и ниже, торфяно-болотные — pH_{KCl} 5,0 и ниже, почвы рекультивируемые (выработанные торфяные месторождения, карьеры и другие) — при pH_{KCl} 5,5 и ниже пахотного или гумусового горизонтов.

В севооборотах со льном, картофелем и люпином известкование проводят при pH_{KCl} 5,5 и ниже (на песчаных почвах — 5,25 и ниже). Рекомендуются вносить известь непосредственно под эти культуры или за четыре и более лет до их посева. В севооборотах с

чувствительными к кислотности культурами в первую очередь необходимо известковать не только сильно, но и средне нуждающиеся в известковании почвы.

Внесение известковых материалов проводится после уборки основного и побочного урожая возделываемой культуры. Повторное известкование пахотных почв и перезалужаемых земель разрешается не ранее чем через 4 года после проведения их агрохимического обследования.

Очень важно определить оптимальную дозу извести с учетом особенностей почвы и возделываемых культур. Наиболее точно это можно сделать по гидролитической кислотности (в тоннах CaCO_3 на 1 га). В этом случае величину гидролитической кислотности (Нг), выраженную в миллиэквивалентах (мэкв) в 100 г сухой почвы, умножают на коэффициент 1,5, т. е. доза $\text{CaCO}_3 = \text{Нг} \cdot 1,5$. Формула получена в результате следующих расчетов. Для нейтрализации 1 мэкв кислотности (ионов H^+) в 100 г почвы требуется 1 мэкв, или 50 мг CaCO_3 ; умножив последнюю величину на массу пахотного слоя одного гектара почвы ($3 \cdot 10^6$ кг) и разделив на $1 \cdot 10^9$ (для пересчета миллиграммов в тонны), получим:

$$\text{Доза } \text{CaCO}_3 = \frac{\text{Н}_г \cdot 500 \cdot 3 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = \text{Н}_г \cdot 1,5.$$

В Республике Беларусь дозы известковых удобрений определяют на основании обменной кислотности с учетом типа и гранулометрического состава почв, исходного уровня кислотности (pH_{KCl}), содержания гумуса в почвах, плотности загрязнения территории радионуклидами. Средние дозы известковых удобрений, рассчитанные с учетом этих факторов, для пахотных почв приведены в табл. 4.4 и 4.5, для сенокосов и пастбищ — в табл. 4.6. Они рассчитаны на нейтрализацию полной гидролитической кислотности на глубину пахотного горизонта до 25 см.

Известкование кислых почв является одним из эффективных способов снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. Внесение извести в дозе, эквивалентной гидролитической кислотности, снижает содержание стронция-90 и цезия-137 в продукции растениеводства в 1,5–2 раза, а в отдельных случаях в три раза.

Таблица 4.4. Средние дозы известковых удобрений для известкования кислых пахотных дерново-подзолистых и торфяных почв, т/га CaCO_3

Группы почв	Содержание гумуса, %	pH_{KCl}							
		4,25 и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Минеральные									
Песчаные	Менее 1,50	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	—	—
	1,51–3,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	—	—
	Более 3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	—	—
Рыхлосупесчаные	Менее 1,50	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5**	—
	1,51–3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0**	—
	Более 3,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5**	—
Связносупесчаные	2,0 и менее	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5**	3,0**
	Более 2,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0**	3,5**
	2,0 и менее	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	3,5
Легко- и среднесуглинистые	Более 2,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
	Любое	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
Торфяные									
Торфяные	—	8(12,0)*	6,5	5,0	3,0	—	—	—	—
	—	(13,0(19,0)**)	10,0**	7,5**	5,0**	—	—	—	—

* Для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

** Для почв с уровнем загрязнения 1,0–4,9 Ки/км² цезием-137 или 0,15–0,29 Ки/км² стронцием-90.

Таблица 4.5. Средние дозы известковых удобрений (т/га СаСО₃) для известкования кислых дерново-подзолистых и торфяных почв при плотности загрязнения радионуклидами 5,0–40,0 Ки/км² цезием-137 или 0,30–3,0 стронцием-90

Группы почв	Содержание гумуса, %	рН _{ксл}								
		4,25– и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Минеральные										
Песчаные	Менее 1,50	8,0	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	–	–	
Песчаные	1,51–3,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	–	–	
	Более 3,0	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–	
Рыхлосупесчаные	Менее 1,50	10,0	9,0	8,5	7,0	5,5	5,0	3,0	–	
	1,51–3,0	10,5	9,5	9,0	8,0	6,5	6,0	3,5	–	
Связносупесчаные	Более 3,0	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–	
	2,0 и менее	12,0	10,5	10,0	9,0	8,0	6,5	5,0	4,0	
Легко- и среднесуглинистые	Более 2,0	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5	
	2,0 и менее	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	9,5	7,0	6,0	
Торфяные	Более 2,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0	
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Торфяные										
Торфяные	–	13,0	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–	
	–	(19,0)*	–	–	–	–	–	–	–	

* Для почв с рН_{ксл} 4,0 и ниже.Таблица 4.6. Средние дозы известковых удобрений (т/га СаСО₃) для известкования кислых почв сенокосов и пастбищ

Группы почв	рН _{ксл}								
	4,25– и менее	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00	
Не загрязненные радионуклидами почвы									
Песчаные	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–	
Рыхлосупесчаные	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	–	–	
Связносупесчаные	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	–	–	
Легко- и среднесуглинистые	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0	
Тяжелосуглинистые	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0	
Торфяные	8,0 (12,0)*	6,5	5,0	3,0	–	–	–	–	
Плотность загрязнения цезием-137 — 1,0–4,9, стронцием-90 — 0,15–0,29 Ки/км ²									
Песчаные	6,0	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–	
Рыхлосупесчаные	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	
Связносупесчаные	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0	3,5	
Суглинистые и глинистые	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0	
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–	
Плотность загрязнения цезием-137 — 5,0–40,0, стронцием-90 — 0,30–3,0 Ки/км ²									
Песчаные	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–	
Рыхлосупесчаные	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–	
Связносупесчаные	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5	
Суглинистые и глинистые	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0	
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–	

* Для почв с рН_{ксл} 4,0 и ниже.

Дозы известковых удобрений на этих почвах зависят от плотности загрязнения радионуклидами. При первом уровне загрязнения ($1-5 \text{ Ку/км}^2$ цезия-137 и $0,15-0,3 \text{ Ку/км}^2$ стронция-90) дозы известковых удобрений увеличиваются только на торфяных почвах и дополнительно известкуются рыхлосупесчаные почвы — с $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,51-5,75$; связносупесчаные почвы — с $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,51-6,00$. При втором уровне загрязнения ($5,0-40,0 \text{ Ку/км}^2$ цезия-137 и $0,30-3,0 \text{ Ку/км}^2$ стронция-90) дозы известковых удобрений устанавливаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один прием.

Доза известкового удобрения в физической массе ($D_{\text{ф}}$) определяется исходя из содержания карбонатов (действующего вещества известкового удобрения), а также влажности и гранулометрического состава удобрения и поправочного коэффициента на вид мелиоранта:

$$D_{\text{ф}} = \frac{D_0 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{M(100 - B)(A_1 + 0,7A_2 + 0,5A_3 + 0,2A_4)},$$

где D_0 — расчетная доза CaCO_3 , т/га; M — содержание действующего вещества, в пересчете на CaCO_3 , %; B — влажность, %; A_1 — доля частиц менее 1 мм, %; A_2 — доля частиц 1–3 мм, %; A_3 — доля частиц 3–5 мм, %; A_4 — доля частиц более 5 мм, %; 0,7, 0,5, 0,2 — нейтрализующая способность частиц по сравнению с частицами менее 1 мм.

При использовании дефеката, карбонатного сапропеля, мела доза определяется по формуле:

$$D_{\text{ф}} = D_0 \cdot 10^4 : M : (100 - B) \cdot 0,8;$$

для мягких мелиорантов:

$$D_{\text{ф}} = D_0 \cdot 10^4 : M : (100 - B).$$

Применительно к доломитовой муке, у которой содержание частиц менее 1 мм приближается к 100 %, а влажность незначительна, можно использовать формулу

$$D_{\text{ф}} = D_0 : 0,95.$$

Внесение пылевидных мелиорантов осуществляется при скорости ветра не более 6 м/с. При определении скорости ветра поль-

зуются данными метеостанций. Внесение мелиорантов в период плохой проходимости машин не допускается.

Необходимо соблюдать рабочую скорость движения машин по внесению мелиорантов, установленную ширину посева и параллельность между смежными проходами.

При известковании запрещается вносить мелиоранты машинами с пневматическим приводом рабочих органов при температуре воздуха ниже -30°C , давлении в цистерне с мелиорантом выше $0,15 \text{ Па}$ ($1,5 \text{ кгс/м}^2$), при неисправных моновакуумметрах.

Внесение мелиорантов пневматическими разбрасывателями с уклоном $7-10^\circ$ запрещается. На полях с более крутыми склонами необходимо использовать центробежные разбрасыватели. Их заезды следует направлять с уклоном $7-10^\circ$ в сторону подъема склона, а при уклоне более 10° — по склону вниз.

Известковые удобрения обладают длительным действием. При внесении полной дозы (основное известкование) они могут положительно влиять на урожайность сельскохозяйственных культур в течение двух ротаций 7–8-польного севооборота, при внесении половинной дозы — на протяжении одной ротации (6–7 лет). Наибольший эффект от известкования проявляется на 2–3-й год после внесения известковых удобрений, затем кислотность почвы понемногу повышается и возникает потребность в повторном известковании. Особенно быстро увеличивается кислотность произвесткованных почв при систематическом внесении высоких доз минеральных удобрений, прежде всего физиологически кислых.

Периодичность и эффективность повторного известкования зависят от дозы удобрений при предыдущем известковании и доз ежегодно вносимых минеральных удобрений: чем интенсивнее применяются удобрения, тем чаще нужно проводить известкование. Необходимость повторного известкования определяют по данным агрохимического анализа почвы (кислотность, содержание гумуса, содержание обменного кальция и магния с учетом цикличности известкования).

Эффективность известкования в большой степени определяется равномерным внесением удобрений и тщательным перемешиванием их с почвой. Мелиоранты рекомендуется вносить под культивацию или боронование полей, которые проводят сельскохозяйственные организации.

Известкование подразделяется на мелиоративное — проводится на полях с pH_{KCl} I и II групп кислотности, поддерживающее — на почвах III и IV групп.

В условиях Республики Беларусь известкование можно проводить круглый год. В зимний период проводится только поддерживающее известкование почв III и IV групп кислотности. Почвы I и II групп кислотности известкуются лишь в случаях, если в другое время года не предоставляется возможным проведение этих работ из-за непроходимости на данных полях специализированной техники.

Запрещается внесение мелиорантов на замерзшие, не покрытые снегом пахотные земли. Глубина снежного покрова, которая не должна превышать 25 см, замеряется непосредственно перед проведением работ по известкованию и указывается в акте приемки работ. Разбрасывающие диски центробежных машин должны быть выше отметки снежного покрова не менее чем на 40 см. Нарезка бульдозерных проходов в толще снега на известкуемых полях не допускается. При этом снижается сезонность выполнения работ, уменьшаются сроки хранения известковых удобрений, увеличивается оборачиваемость складских помещений, рационально используются машины и механизмы. Чтобы удобрения не сдувались со снега и не смывались тальми водами, зимой их вносят только на ровных площадях (с уклоном не более 3°). Нельзя проводить известкование по твердому насту и снежному покрову толщиной более 25 см. Влажность удобрений не должна превышать 7–8 %, иначе на морозе они смерзаются. Только при выполнении этих условий эффективность зимнего внесения извести не уступает осеннему и весеннему.

Качество внесения мелиорантов на конкретном поле или участке определяется на основе следующих показателей: соответствие нормативной дозе внесения, равномерность внесения, включая удобренность поворотных полос, отсутствие просыпания мелиорантов.

Особенно отзывчивы на известкование, давая высокую прибавку урожайности, сахарная и кормовая свекла, клевер, люцерна, ячмень, озимая и яровая пшеница, кукуруза и почти все овощные культуры. Поэтому в первую очередь известкуют дерново-подзолистые почвы I и III групп кислотности (pH_{KCl} менее 5,5), которые отводятся под эти культуры.

В севообороте, насыщенном зерновыми культурами, известь можно вносить под озимые, яровые, под покровные культуры, клевер и многолетние травы, в кормовых севооборотах — в первую очередь под корнеплоды и кукурузу, а в овощных — под капусту и свеклу или их предшественники.

Почвы под посевы льна и картофеля, как уже отмечалось, нуждаются в известковании только при средней и сильной кислотности, так как при высоких дозах $CaCO_3$ картофель поражается паршой, снижается содержание крахмала в клубнях, а лен заболевает кальциевым хлорозом, ухудшается качество волокна из-за нарушения калийного питания и уменьшения усвояемых соединений бора в почве. Чтобы избежать этого, рекомендуется проводить известкование непосредственно под эти культуры на почвах с pH_{KCl} 5,5 и ниже. На произвесткованных почвах в севообороте со льном и картофелем дозы калийных удобрений увеличиваются в первые три года на 20 %, вносятся также борные, медные и цинковые удобрения. Лучшим известковым удобрением для льна и картофеля является доломитовая мука. При достаточном содержании в почве калия и соблюдении сроков и правил внесения удобрений существенно увеличивается урожайность картофеля и выход крахмала с единицы площади. На таких почвах возрастает урожайность и качество льна.

Полевые опыты Института почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь с люпином показали, что отрицательных последствий известкования также можно избежать, если дополнительно вносить калийные удобрения. На дерново-подзолистой суглинистой почве самая низкая урожайность зеленой массы люпина (161 ц/га) была получена на известкованной почве (pH_{KCl} 5,4) с низким содержанием калия (60 мг K_2O в 1 кг почвы). При содержании калия 180 мг/кг почвы отрицательное влияние известкования не проявлялось и урожайность зеленой массы люпина была 395 ц/га. Это подтверждает, что даже культуры, неотзывчивые на известкование, при правильном применении макро- и микроудобрений могут давать высокий урожай и после известкования полными дозами, т. е. на почвах с pH_{KCl} 6,0–6,5.

Плодовые и ягодные культуры, выращиваемые в республике, слабо чувствительны к почвенной реакции, однако при сильной кислотности почти всегда снижают урожайность. Лучший эффект дают магнийсодержащие известковые удобрения.

На сенокосах и пастбищах известь вносят по вспаханной почве при перезалужении и коренном улучшении и заделывают культиватором. Поверхностное известкование на этих угодьях неэффективно и может проводиться лишь одновременно с поверхностным улучшением. После известкования в травостоях уменьшается удельный вес злаковых трав и сорняков, а доля бобовых увеличивается, улучшается их рост и развитие. Благодаря этому повышается продуктивность угодий и питательность сена и пастбищных кормов.

Эффективность известкования зависит от степени кислотности почвы, особенностей возделываемых культур, нормы и вида известковых удобрений. Чем больше кислотность почвы и выше доза извести, тем больше эффект от известкования. После известкования сильно- и среднекислых дерново-подзолистых почв урожайность озимой пшеницы увеличивается на 3–7 ц/га, озимой ржи, яровой пшеницы, ячменя — на 2–5, клеверного сена — на 8–15, сахарной и кормовой свеклы — на 40–100, кукурузы (зеленая масса) — на 30–70, картофеля — на 10–20 ц/га.

Положительное действие полной дозы извести, по данным РУП «Научно-практический центр по земледелию НАН Беларуси», проявляется на протяжении 8–10 лет и за это время обеспечивает дополнительный урожай, равный примерно 30 ц зерновых единиц с гектара. Каждая тонна известкового удобрения на средне- и сильнокислых почвах дает за ротацию 7-польного севооборота общую прибавку урожая всех культур, равную в переводе на зерно 6–8 ц, а за две ротации — 12–15 ц. Так как известковые удобрения медленно взаимодействуют с почвой, наибольший эффект от известкования проявляется на 2–3-й год после внесения.

Известкование является основным условием эффективного применения удобрений на кислых почвах. Удобрения на неизвесткованных почвах часто не дают значительного повышения урожая, особенно культур, чувствительных к кислотности почвы. Известкование резко увеличивает эффективность органических и минеральных удобрений. Совместное внесение извести и навоза на кислых почвах способствует получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Под влиянием извести ускоряется разложение навоза и повышается использование содержащихся в нем питательных элементов, а навоз усиливает положительное

действие извести на свойства почвы. Совместное внесение извести и навоза позволяет вдвое уменьшить норму навоза без снижения эффективности минеральных удобрений.

Экономическая эффективность внесения известковых удобрений подтверждена в многочисленных полевых опытах. На сильно- и среднекислых почвах затраты на известкование окупаются стоимостью дополнительного урожая зерновых за 1–2 года, кормовых — менее чем за год, а овощей — от 3 до 5 раз за один год, на слабокислых почвах окупаемость удобрений приблизительно в 1,5 раза меньше.

Глава 5

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

5.1. Классификация и свойства минеральных удобрений

Удобрениями называют вещества, используемые для питания растений и повышения плодородия почв.

По химическому составу все удобрения подразделяют на минеральные и органические (рис. 5.1). К удобрениям относятся разнообразные минеральные и органические вещества и материалы, которые содержат необходимые для растений элементы питания, усиливают мобилизацию питательных элементов из почвенных запасов и улучшают свойства почвы. По характеру действия удобрения разделяют на прямые и косвенные.

Удобрения прямого действия. Содержат необходимые растениям питательные элементы и оказывают непосредственное положительное влияние на питание сельскохозяйственных культур. При внесении азотных удобрений улучшается азотное питание растений, а фосфорных удобрений — фосфорное питание и т. д.

Удобрения косвенного действия. Применяют главным образом не для непосредственного улучшения условий питания растений каким-либо элементом, а для улучшения свойств почвы, изменения реакции почвенного раствора и усиления процесса мобилизации имеющихся в почве запасов питательных элементов, т. е. они оказывают косвенное воздействие на условия питания растений.

К косвенным удобрениям относят используемые для химической мелиорации почв известковые удобрения и гипс, а также бактериальные удобрения.

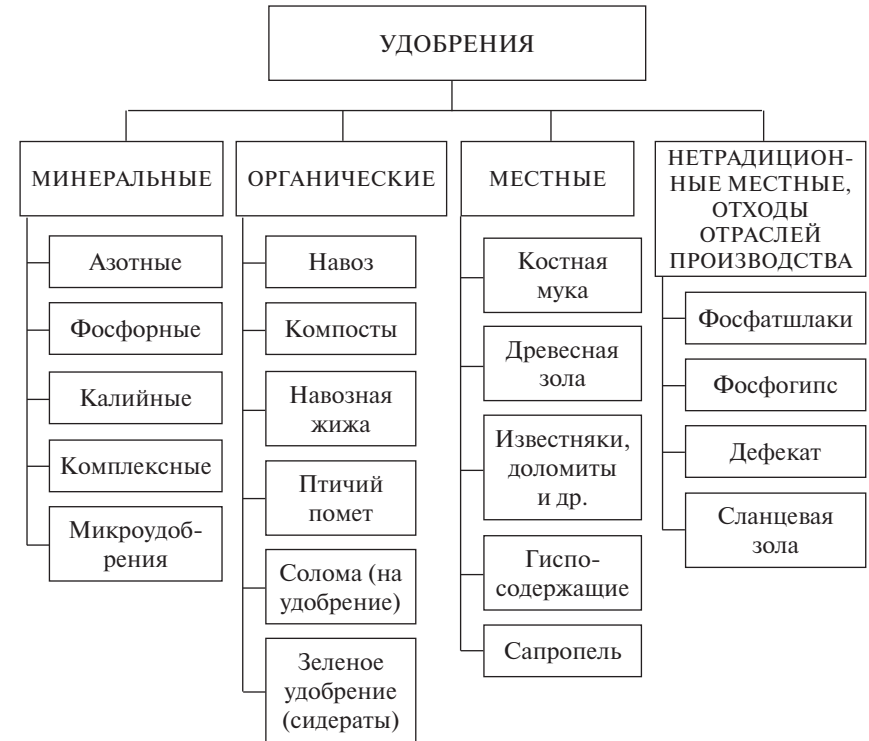


Рис. 5.1 Классификация удобрений (В. Г. Минеев)

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

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

Местные удобрения. Получают на местах их использования, в самих хозяйствах или вблизи них. К таким удобрениям относят прежде всего различные органические удобрения (навоз, навозная

жижа, птичий помет, фекалии, различные компосты, торф, прудовый ил, зеленое удобрение и пр.), местные известковые материалы, отходы металлургической и других видов промышленности, используемые в сельском хозяйстве вблизи мест соответствующих производств.

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

В зависимости от того, какие питательные элементы находятся в удобрениях, их подразделяют на две группы.

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

Комплексные удобрения включают одновременно не менее двух главных питательных элементов.

Термином «вид минерального удобрения» обозначают категорию удобрения, выделяемую по действующему веществу, а термином «форма минерального удобрения» — их характеристику по химическому составу.

Так, азотные удобрения (вид удобрения) выпускают в различных формах (аммиачная селитра, мочевины, безводный аммиак, сульфат аммония и др.).

Минеральные удобрения бывают промышленного и ископаемого происхождения. Они 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 однокомпонентные и комплексные минеральные удобрения. Однокомпонентные содержат один основной элемент питания: азот, фосфор, калий, магний, бор и т. д. По агрегатному состоянию они бывают твердые,

жидкие, суспензированные, а по строению — порошковидные, кристаллические и гранулированные. Комплексные удобрения содержат два и более элемента питания и в зависимости от технологии производства могут быть сложными, сложносмешанными и смешанными.

Та часть удобрения, которая может быть использована растением, называется действующим веществом (д. в.). Оно выражается в процентах от физической массы: в азотных удобрениях — в расчете на N , в фосфорных — на P_2O_5 , калийных — на K_2O , магниевых — на MgO и т. д. 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. Например, при дозе 70 кг/га д. в. азота доза внесения мочевины, содержащей 46 % д. в., будет 152 кг/га $[(70 \cdot 100) : 46]$ или 1,52 ц/га.

Важнейшими физическими, химическими и механическими свойствами минеральных удобрений, которые необходимо учитывать при их хранении и транспортировке и от которых зависит эффективность их действия, являются: растворимость в воде, гигроскопичность, слеживаемость, влагоемкость, рассеиваемость, гранулометрический состав, а также прочность гранул.

Для предотвращения порчи удобрений при хранении необходимо учитывать их насыпную плотность, угол естественного откоса, а также способность к расслаиванию (для смешанных удобрений), вязкость. При организации хранения удобрений следует знать и такие их характеристики, как огне- и взрывоопасность, а также химические свойства — свободную кислотность, способность к ретроградации, выделению аммиака.

5.2 Азотные удобрения

5.2.1. Значение азота для растений, содержание и превращение азота в растениях

Азот — важнейший элемент питания для всех растений. Азот, фосфор и сера вместе с углеродом, кислородом и водородом являются строительным материалом для образования органических веществ и, в конечном счете, живой ткани.

В среднем содержание азота в растениях составляет 1–3 % от массы сухого вещества. Содержание его в белках составляет 16–18 % от массы. Содержание азота в растениях существенно изменяется в зависимости от вида растений, их возраста, почвенно-климатических условий выращиваемой культуры, приемов агротехники и т. д. Например, в семенах зерновых культур азота содержится 2–3 %, бобовых 4–5 %. Наибольшее содержание азота содержится в вегетативных органах молодых растений. По мере их старения азотистые вещества передвигаются во вновь появившиеся листья и побеги. Нельзя не отметить также большое значение азота, как элемента, входящего в состав ферментов–катализаторов жизненных процессов в растительных организмах.

Как химический элемент азот был открыт Резерфордом в 1722 г., но название ему дал А. Лавуэ в 1777 г. Название происходит от греческого α — отрицательная частица — и $ζοο$ — жизнь — «не поддерживающий жизни», так как азот не поддерживает дыхания и горения. Позже было установлено, что азот — 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. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. Без азота рост и развитие растений невозможны.

Основными источниками азота для растений являются органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями и свободноживущими микроорганизмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами.

Доступные азотистые соединения образуются главным образом из органического вещества почвы в результате его разложения. В результате процессов нитрификации в почве накапливаются минеральные (аммонийные и нитратные) формы.

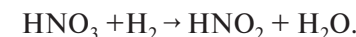
Главные химические соединения, из которых растения усваивают азот — соли азотной кислоты (нитраты) и соли аммония. В естественных условиях растения потребляют нитрат-ион и катион аммония, находящиеся в почвенном растворе и в обменно-поглощенном почвенном коллоидах состоянии. Поступившие в расте-

ния минеральные формы азота проходят сложный цикл превращений, в конечном итоге включаясь в состав органических азотистых соединений — аминокислот, амидов и, наконец, белков.

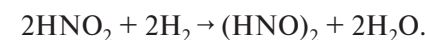
Нитраты и нитриты (азотнокислые и азотисто-кислые соли и эфиры) не способны вступать в реакцию с кетогруппами органических карбоновых кислот, поэтому для образования аминокислот они восстанавливаются в тканях растений до аммиака. Если растения содержат достаточное количество углеводов, то нитраты восстанавливаются до аммиака еще в корнях. Процесс ферментативного восстановления нитратов, происходящий в растениях благодаря окислению углеводов, идет через ряд промежуточных соединений и катализируется несколькими ферментами:



На первой стадии процесса нитраты под действием фермента нитратредуктазы восстанавливаются до нитритов:



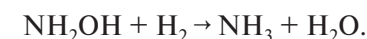
Далее при участии фермента нитритредуктазы нитрит восстанавливается до гипонитрита:



Затем под действием фермента гипонитритредуктазы присоединяются еще два атома водорода и образуется гидросиламин:



Последующее восстановление гидросиламина при участии фермента гидросиламинредуктазы приводит к образованию аммиака:



Ферменты, под влиянием которых нитраты восстанавливаются до аммиака, представляют собой металлофлавопротеиды. Для фермента, участвующего в восстановлении нитратов до нитритов, необходим молибден; для превращения нитрита в гипонитрит и

ганических кислот (особенно при прорастании семян, имеющих малый запас углеводов, например сахарной свеклы) аммиачный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая их «аммиачное отравление». Растения, репродуктивные органы которых содержат большое количество углеводов (например, картофель), быстро усваивают аммиачный азот и хорошо отзываются на внесение аммиачных удобрений.

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. 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. Таким образом, синтез органических веществ начинается с аммиака, а распад завершается его образованием. Как сказал Д. Н. Прянишников, «аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ в растениях».

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. 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.

Качество растениеводческой продукции зависит и от вида азотных соединений, усваиваемых растениями. 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. Д. Н. Прянишников и его ученики доказали, что аммиачный и нитратный азот при определенном сочетании внешних и внутренних условий могут быть равноценными источниками питания растений.

Усвоение растениями аммиачного и нитратного азота зависит от реакции среды, концентрации в почве сопутствующих катионов, анионов и зольных элементов (фосфора, серы, калия, микроэлементов), 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. 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.

5.2.2. Содержание и превращение азота в почве

Почва — основной источник азота для сельскохозяйственных культур. Он находится в составе гумуса, органических соединений, входящих в растительные остатки разной степени разложения, в микробной плазме. Валовое содержание азота в почвах Республи-

ки Беларусь варьирует в значительных пределах и зависит от типа почвы, гранулометрического состава, запасов гумуса, режима увлажнения, степени окультуренности почвы.

Главным источником азота в почве является гумус, в котором содержится 5 % азота. Градация по содержанию гумуса в минеральных почвах Беларуси приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Градация по содержанию гумуса в почвах

Группа по содержанию гумуса	Содержание гумуса, %
1. Очень низкое	Менее 1,0
2. Низкое	1,01–1,50
3. Среднее	1,51–2,00
4. Повышенное	2,01–2,50
5. Высокое	2,51–3,00
6. Очень высокое	Более 3,00

Наиболее богаты азотом торфяно-болотные почвы, где его содержание колеблется в пределах 2,5–5,2 %, а запасы в пахотном горизонте — 16–20 т/га. В дерново-подзолистых почвах содержание общего азота колеблется от 0,10–0,16 % в суглинистых до 0,08–0,13 в супесчаных и 0,07–0,10 % в песчаных почвах.

На органические соединения: белки, амины, амиды, аминокислоты и др. приходится 93–95 % почвенного азота. Органический азот практически недоступен растениям и переходит в усвояемую для растений форму лишь после минерализации.

Наряду с обменным аммонием в почве присутствует фиксированный аммоний, который не извлекается из почвы 1 М раствором KCl. В пахотном горизонте дерново-подзолистых почв его 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 входением их в межпакетные промежутки кристаллической решетки почвенных глинистых минералов (вермикулита и др.) с последующим проникновением в гексагональные пустоты в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев. Часть фиксированного аммония может быть доступна растениям:

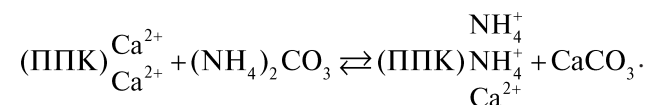
та его фракция, которая не является структурным элементом решетки.

Таким образом, так как только 1 % азота содержится в легкоусвояемых формах, а остальная часть минерального азота (3–5 % общего) находится в фиксированной (недоступной) форме, то нормальное снабжение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических веществ. В общем виде разложение последних происходит так: белки, гуминовые вещества → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты → молекулярный азот.

Процесс разложения органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется аммонификацией. Он осуществляется многочисленными аэробными и анаэробными почвенными микроорганизмами, бактериями, актиномицетами и плесневыми грибами. Они выделяют протеолитические ферменты, под воздействием которых белковые вещества распадаются до аминокислот. Последние легко усваиваются микроорганизмами и под действием ферментов микробных клеток (дезаминаз и дезамидаз) подвергаются дезаминированию и дезамидированию: от аминокислот 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 получаются при минерализации органического вещества почвы:



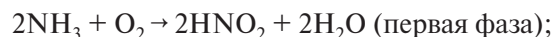
Аммоний поглощается почвенными коллоидами:



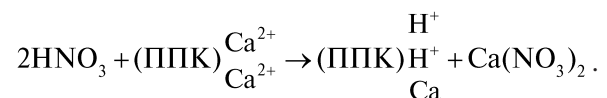
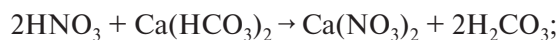
Аммонификация происходит во всех почвах, при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных усло-

виях при сильных кислот и щелочной реакция 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:



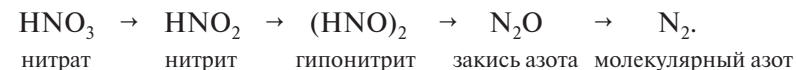
Нитратная форма азота при соответствующих условиях может хорошо поглощаться растениями. Образовавшаяся в почве в результате нитрификации азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями почвы:



Нитрификация протекает интенсивно при хорошем доступе воздуха, 60–70%-й влажности почвы, температуре 25–32 °С и pH_{KCl} 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

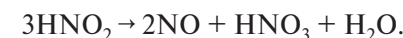
также подвергаться денитрификации — образованию газообразных форм азота (NO , N_2O и N_2), в результате чего также теряется азот почвы. В денитрификации участвует обширная группа бактерий-денитрификаторов (*Bact. denitrificas*, *Bact. stutzer*, *Bact. fluorescens* и др.). Этот процесс идет особенно интенсивно, 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.



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. 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. Последний образуется также при химическом взаимодействии таких промежуточных продуктов окисления в процессе нитрификации, как гидросиламин и азотистая кислота:



Восстановление нитратов до NO , N_2O и N_2 возможно и при реакции их с почвенным органическим веществом, сохраняющим фенольные и хинонные группы, и при взаимодействии с ионами некоторых тяжелых металлов (Mn^{2+} , Fe^{2+}). Кроме того, азотистая кислота, будучи очень нестойкой, в кислых почвах ($\text{pH KCl} < 5$) 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. Микроорганизмы углеводы и азот переводят в белок плазмы своих тел. Схема трансформации азота в почве приведена на рис. 5.2. 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.

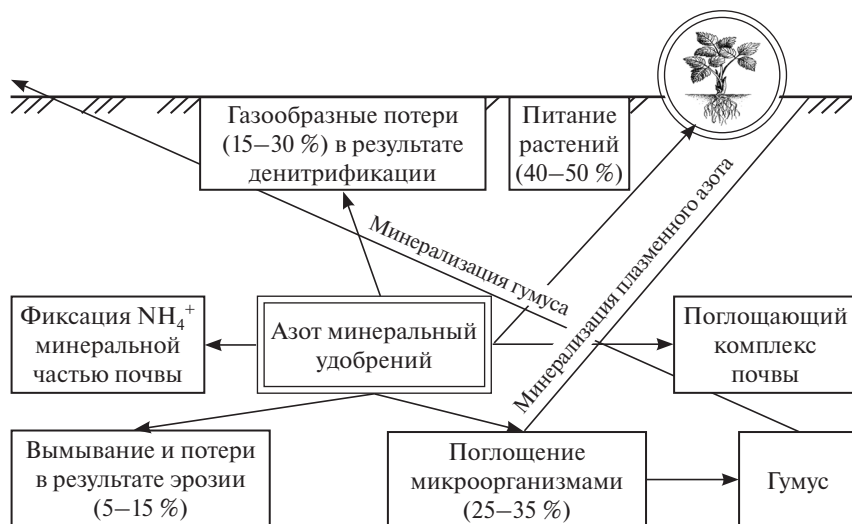


Рис. 5.2. Схема трансформации азота минеральных удобрений в почве

Различные группы микроорганизмов осуществляют процессы аммонификации и нитрификации, в результате которых в почве

накапливается минеральный азот, входящий в состав аммиачных и нитратных форм. В дерново-подзолистых почвах количество минеральных соединений — нитратов и обменно-поглощенного аммония — невелико и не превышает 1–3 % от общего содержания азота.

Содержание и запасы азота в дерново-подзолистых почвах снижаются в нижележащих горизонтах и зависят от гранулометрического состава почвы (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Содержание и запасы азота в дерново-подзолистых почвах (Т. Н. Кулаковская)

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	Общий азот, %	Запасы общего азота, т/га	Фиксированный аммоний	
					мг/кг	% от общего N
Среднесуглинистая почва на моренном суглинке						
А _n	4–20	2,45	0,179	6,4	51,2	2,9
А ₂ В ₁	30–40	0,69	0,064	1,4	41,4	6,5
В ₁	55–68	0,32	0,054	2,8	44,0	8,2
В ₂	90–100	0,20	0,031	3,5	33,8	10,9
С	165–175	0,07	0,025	2,3	40,4	16,2
Легкосуглинистая почва на лессовидном суглинке						
А _n	2–18	1,69	0,119	3,1	46,0	3,9
А ₂	30–40	0,81	0,091	3,7	42,5	4,7
В ₁	55–65	0,51	0,056	3,8	44,0	7,9
В ₂	102–114	0,28	0,320	1,7	37,3	11,7
С	140–150	0,22	0,036	4,7	43,0	11,9
Связнопесчаная почва, подстилая моренным суглинком						
А _n	5–15	1,30	0,070	2,2	14,5	2,1
А ₂ В ₁	25–35	0,48	0,039	1,2	11,8	3,0
В ₁	50–65	0,14	0,014	0,6	1,7	1,2
В ₂	80–100	0,14	0,021	1,6	18,4	8,8
С	140–150	0,07	0,013	1,1	24,5	18,9

Общие запасы азота в метровом слое дерново-подзолистых суглинистых почв в 2–2,5 раза больше, чем песчаных.

Содержание общего азота тесно связано с содержанием гумуса. Содержание фиксированного аммония незначительно изменяется в генетических горизонтах суглинистых почв. В песчаных почвах содержание фиксированного аммония резко снижается в горизонте

B_1 , а затем увеличивается в горизонтах B_2 и C , где пески сменяются моренным суглинком. Однако относительное его содержание, как в суглинистых, так и супесчаных почвах, значительно увеличивается в нижних горизонтах почв. Эта фракция минеральных соединений азота связана с глинистыми минералами и органическим веществом почвы. Поглощение почвой аммония следует рассматривать как положительный процесс, особенно на песчаных почвах, так как при этом азот удобрений не вымывается и грунтовые воды не загрязняются.

Растения питаются минеральным азотом. В таблице 5.3 представлена градация по содержанию минерального азота в дерново-подзолистых почвах.

Таблица 5.3. Градация почв по содержанию минерального азота

Градация почв по содержанию минерального азота	Содержание минерального азота ($N-NO_3+N-NH_4$), мг/кг почвы
1. Очень низкое	Менее 15,0
2. Низкое	15,1–40,0
3. Среднее	40,1–70,0
4. Повышенное	70,1–100
5. Высокое	100,1–130,0
6. Очень высокое	Более 130,0

Имеются определенные различия азотного фонда в дерново-подзолистых избыточно увлажняемых почвах, которых в Республике Беларусь насчитывается более 1,8 млн га. 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 легкогидролизуемого и трудногидролизуемого возрастает. Избыточно увлажняемые почвы в отличие от автоморфных содержат больше влаги и имеют более короткий благоприятный период для процессов нитрификации.

Наибольшими запасами азота отличаются торфяно-болотные почвы, в которых в верхнем горизонте при благоприятных условиях для минерализации может накапливаться до 300–500 кг/га ми-

нерального азота. Мелиорация торфяно-болотных почв активизирует процессы минерализации и уплотнения торфа.

Азотный режим торфяно-болотных почв во многом определяется возделываемыми на них культурами. Наиболее интенсивно минерализация органического вещества протекает под пропашными культурами. Минимальные потери органического вещества и наиболее интенсивное использование почвенных запасов наблюдаются под многолетними травами. Промежуточное положение занимают зерновые культуры. В связи с этим важнейшей задачей рационального использования торфяно-болотных почв является изыскание путей регулирования темпов биологической минерализации органического вещества, с одной стороны, и максимальное использование растениями накапливающегося количества минерального азота и снижения непроизводительных потерь — с другой.

5.2.3. Значение биологического азота, круговорот и баланс азота в земледелии

Продуктивность любого фитоценоза определяется, прежде всего, количеством доступного азота. В начальный период эволюции растительного мира биологически фиксированный азот был главным источником азота для растений.

Азотфиксация и фотосинтез выделены в число основных физиологических процессов, от которых в значительной степени зависит производство сельскохозяйственной продукции.

Проблемой биологического азота в земледелии активно занимаются во всем мире. Этому вопросу уделяли большое внимание такие выдающиеся ученые как Ж. Буссенго, К. А. Тимирязев, Д. Н. Прянишников, С. Н. Виноградский, М. Бейеринк, Г. Вульфорт, М. С. Воронин, В. Л. Омелянский, Н. А. Майсuryан, Е. Н. Мишустин, а также В. К. Шильникова, Е. П. Трепачев, П. С. Посыпанов и многие другие ученые.

Установление благоприятного сочетания биологического азота и азота минеральных удобрений в питании сельскохозяйственных культур позволяет сбалансировать круговорот питательных веществ в земледелии, не вызывая нарушения равновесия в окружающей среде, в частности в биогеоценозах. Вследствие этого изу-

чение биологической фиксации атмосферного азота имеет не только теоретический интерес.

Все разнообразие бактерий азотфиксаторов в агрономическом плане можно разделить на три большие группы:

1) клубеньковые (симбиотические) бактерии бобовых растений рода *Rhizobium*, инфицирующие корни бобовых с образованием на них клубеньков и живущие в симбиозе с высшим растением;

2) несимбиотические (свободноживущие) бактерии, обитающие в почве (аэробные и анаэробные фиксаторы азота), и азотфиксаторы, обитающие на поверхности почвы — сине-зеленые водоросли (цианобактерии);

3) ассоциативные азотфиксаторы рода *Azospirillum* и др., живущие в ризосфере главным образом за счет корневых выделений.

Бобовые культуры являются важным источником пополнения азота в земледелии, а также в создании кормовой базы животноводства. Белок является важным компонентом пищи человека и корма животных. Семена зернобобовых содержат сырого протеина от двух до четырех раз больше, чем зерно злаковых зерновых культур. Возможный выход протеина с 1 га у главных видов зернобобовых культур может быть в два раза выше, чем у зерновых, причем сырой протеин составляет у них почти полностью настоящий белок. Белок бобовых на 80–90 % состоит из легкоусвояемых водо- и солерастворимых фракций и полноценнее по аминокислотному составу, чем белок злаковых культур. Содержание наиболее важных незаменимых аминокислот в семенах бобовых в 2–4 раза выше, чем в зерне злаков.

Связывают азот атмосферы свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы рода азотобактер (*Azotobacter*), клостридий (*Clostridium*) и др. Количество усваиваемого азотобактером азота крайне непостоянно и составляет в зависимости от почвенно-климатических условий от 3–5 до 15–20 кг, а в некоторых случаях до 26–40 кг/га. В условиях Беларуси, по данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, в среднем на 1 га пашни поступление азота фиксированного свободноживущими бактериями составляет 15 кг/га.

Хотя роль свободноживущих почвенных азотфиксаторов в азотном балансе Беларуси не столь велика в сравнении с симбиотическими, по расчетам за счет жизнедеятельности свободноживущих азотфиксаторов на пахотных почвах республики может на-

капливаться до 77 тыс. т биологического азота, а на улучшенных сенокосах и пастбищах — соответственно до 12,9 тыс. т.

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. 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. Бактериальные удобрения на основе ризосферных азотфиксаторов (Ризобактерин С, Азобактерин) в опытах Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, кафедры агрохимии УО БГСХА в среднем за три года дали прибавку урожайности ячменя 3–10 ц/га, яровой пшеницы 3–5 ц/га, сена многолетних трав на 10–20 %. В ряде случаев обработка семян ячменя препаратом на основе азоспириллы была эквивалентна действию 30–60 кг/га минерального азота.

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. Так, клевер при хорошем урожае может накапливать 150–250 кг азота, однолетние зернобобовые — 150–200, люцерна — 250–350 кг на 1 га. Примерно треть связанного бобовыми азота остается в пожнивных и корневых остатках и после их минерализации может использоваться культурами, следующими в севообороте после бобовых. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, люцерна на каждый ц основной продукции (зеленая масса) усваивает из атмосферы за вегетацию 0,40 кг, клевер — 0,35, люпин (зерно) — 5,0, горох, пелюшка, соя (зерно) — 2,5, многолетние бобово-злаковые смеси на пашне (зеленая масса) — 0,20 кг азота.

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.

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. Предложена гипотетическая схема ступенчатого восстановления азота до аммиака через диимид и гидразин (Харди) и другие гипотезы.

Биохимия нитрогеназы окончательно неясна до тех пор, пока не будут описаны реакции на молекулярном уровне. Недостаточно изучено, как энергия от гидролиза АТФ сочетается с переносом электронов к нитрогеназе, как происходит комплексование и восстановление молекулы азота, не до конца ясен механизм участия в этом процессе металлов, в том числе молибдена.

К настоящему времени уже сложилось вполне определенное представление о процессах, происходящих в биологических системах при фиксации молекулярного азота. Однако необходимо дальнейшее изучение биологических восстановителей азота, промежуточных продуктов фиксации, локализации этого процесса и его структурной организации. Проблема фиксации молекулярного азота азотфиксирующими микроорганизмами комплексная: она затрагивает микробиологию, агрономическую и биологическую химию, физику и химию, молекулярную биологию, а также молекулярную генетику.

Для повышения азотфиксирующей способности бобовых культур применяют бактериальные удобрения.

Активизации биологической азотфиксации способствуют известкование кислых почв, оптимизация фосфорного и калийного питания растений, внесение физиологически оправданных доз минерального азота или его полное исключение.

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

Для дерново-подзолистых пахотных почв Беларуси средний норматив, по данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, составляет 15 кг/га в год.

Несмотря на значительную фиксацию азота бобовыми культурами, в среднем этот источник азотного питания пока невелик — 4–6 кг/га в расчете на всю посевную площадь страны. Небольшое количество азота (около 3 кг/га) поступает с семенами. 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.

5.2.4. Классификация, получение, свойства и особенности применения азотных удобрений

В настоящее время в мире выпускаются азотные удобрения, содержащие азот в следующих формах:

- 1) аммонийные (аммиачные) $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl ;
- 2) нитратные $(NaNO_3)$, $Ca(NO_3)_2$;
- 3) аммонийно-нитратные (NH_4NO_3) , $(NH_4)_2SO_4 \cdot 2NH_4NO_3$;
- 4) амидные $CO(NH_2)_2$;
- 5) аммиачные (безводный аммиак, аммиачная вода).

Схематично классификация азотных удобрений представлена на рисунке 5.3.

Кроме того, азотные удобрения могут быть представлены смешанными формами (аммиакаты, КАС). В отдельную группу могут быть выделены медленнодействующие азотные удобрения (уреа-фирмы, капсулированные (воск, парафин, масла, смолы, полимеры и др.), с ингибиторами нитрификации.

Производство азотных удобрений основано главным образом на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. В слое воздуха 15 км над площадью 1 га содержится около 78 тыс. т молекулярного азота, т. е. запасы этого элемента практически не ограничены. В настоящее время более распространенным и дешевым способом связывания атмосферного азота является способ немецкого химика Табера, который предложил

получать аммиак путем взаимодействия чистых азота и водорода. Азот получают, пропуская воздух в генератор с горящим коксом. Источником водорода служит природный газ, нефтяные и коксовые газы.

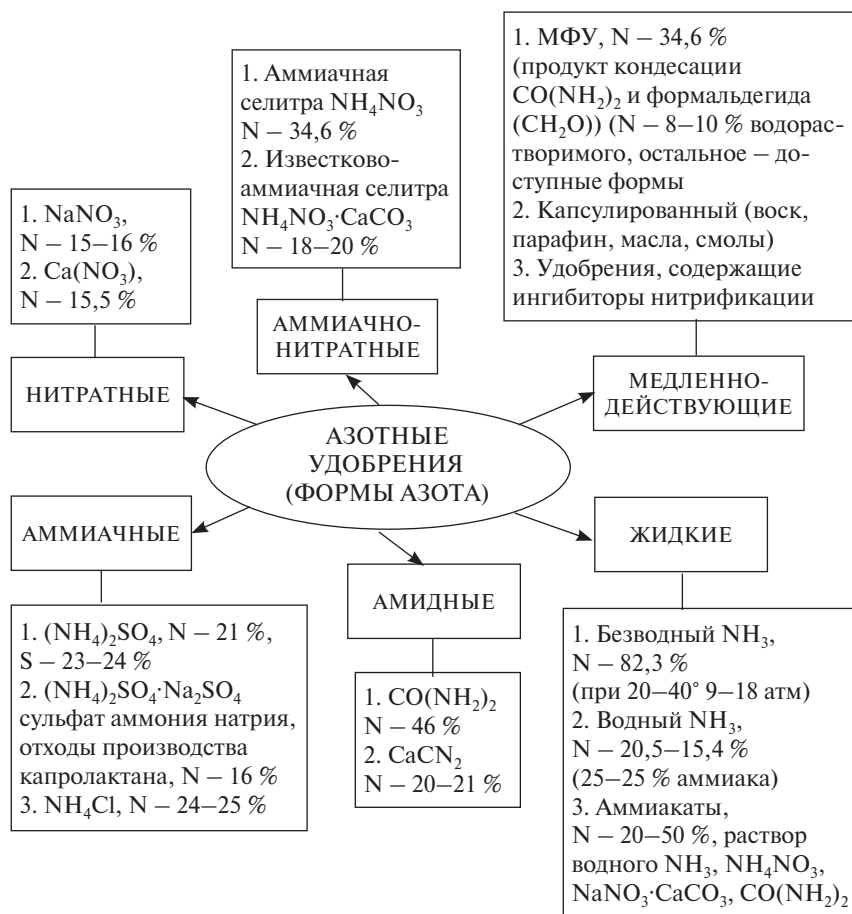
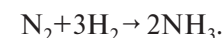


Рис. 5.3. Классификация азотных удобрений (В. Г. Минеев)

Для этого смесь азота и водорода в соотношении 1:3 вначале подвергают сжатию под высоким давлением, а потом подают в контактную печь (камеру синтеза), где при высокой температуре (400–500 °С) и давлении в присутствии катализаторов железа

с добавлением оксидов алюминия и калия осуществляется синтез аммиака:



Затем аммиак поступает в холодильник и сжимается. Следует отметить, что этот процесс требует больших затрат энергии. Для производства одной тонны азота необходимо затратить энергию, эквивалентную 4 т нефти.

Синтетический аммиак используют не только для производства аммонийных азотных удобрений, но и азотной кислоты, которая идет для получения аммонийно-нитратных и нитратных удобрений. Основными формами азотных удобрений, которые выпускаются в Беларуси, являются карбамид, КАС, сульфат аммония. В настоящее время ассортимент значительно расширен за счет производства на их основе медленнодействующих форм удобрений.

Нитратные удобрения — натриевая селитра — в Беларуси не применяются, однако знание ее свойств и поведения в почве полезно для понимания особенностей применения других азотных удобрений.

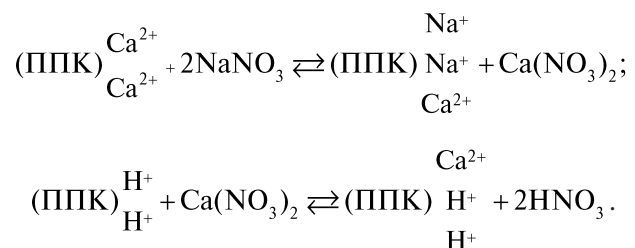
Натриевая селитра (NaNO_3) — содержит 16 % азота и 26 % натрия. Ее добывали из естественных залежей в Чили и поэтому получила название чилийской селитры. Выпускаемое удобрение является побочным продуктом при производстве азотной кислоты из аммиака и представляет собой мелкокристаллическую соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимую в воде. Гигроскопична и при неправильном хранении может слеживаться. В сухом состоянии хорошо рассеивается. Положительно влияет на урожайность и качество сахарной, столовой и кормовой свеклы и является хорошим удобрением для этих культур.

Кальциевая селитра ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) содержит 13–15 % азота. Впервые была получена в Норвегии. Получается при нейтрализации азотной кислоты известью, а также в качестве побочного продукта при производстве комплексных удобрений способом азотнокислотной переработки фосфатов. Кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает высокой гигроскопичностью и даже при нормальных условиях хранения сильно отсыревает и слеживается. Поэтому хранят и перевозят ее в специальной водо-

непроницаемой упаковке. Можно применять для подкормки огурцов и томатов открытого и защищенного грунта.

Натриевая и кальциевая селитры являются физиологически щелочными удобрениями. 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.

В почве селитры быстро растворяются и вступают в обменные реакции с катионами почвенного поглощающего комплекса (ППК):



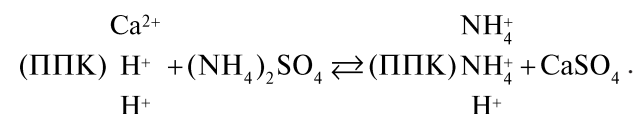
Катионы Na^+ и Ca^{2+} поглощаются почвой, а анионы NO_3^- остаются в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность. При внесении в почву нитратные удобрения сравнительно легко вымываются из ее пахотного слоя, поэтому их применяют под предпосевную культивацию и для подкормки растений во время вегетации. 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 корней и содержание в них сахара.

Аммонийные удобрения — к ним относятся сульфат аммония, хлористый аммоний, а также углекислый аммоний. Более широко из этих форм удобрений применяется сульфат аммония.

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 аммо-

ния вырабатывают в качестве побочного продукта при производстве капролактана. 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.

После внесения в почву сульфат аммония быстро растворяется в почвенной влаге и вступает в обменные реакции с катионами ППК:



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

Сульфат аммония физиологически кислое удобрение, так как растения быстрее и больше потребляют катионы NH_4^+ , чем анионы SO_4^{2-} . Последний, соединяясь с водородом, образует серную кислоту, вызывая подкисление почвенного раствора. При систематическом применении этого удобрения, особенно на малобufferных дерново-подзолистых почвах, повышается кислотность, уменьшается степень насыщенности почв основаниями. В результате ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрений. Особенно сильно подкисляющее действие сульфата аммония сказывается на культурах, чувствительных к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла и капуста, для них это удобрение менее эффективно, чем нитратные. Отрицательное влияние сульфата аммония устраняется известкованием кислых почв и хорошей заправкой органическими удобрениями. Для культур, положительно реагирующих на серу (картофель, капустные), сульфат аммония благодаря присутствию в нем серы является одним из лучших азотных удобрений. Для нейтрализации подкисляющего действия 1 ц сульфата аммония требуется 1,3 ц CaCO_3 .

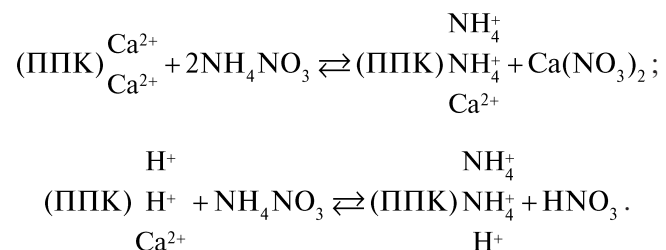
Хлористый аммоний (NH_4Cl) — мелкокристаллическая соль белого цвета. Содержит 24–25 % N. Побочный продукт при про-

изводстве соды аммиачным способом, так же как и сернокислый аммоний, физиологически кислое удобрение. Содержит 66 % хлора. В связи с высоким содержанием хлора не рекомендуется применять под культуры, чувствительные к хлору (гречиха, картофель и др.). Для устранения подкисляющего действия 1 ц NH_4Cl требуется 1,4 ц CaCO_3 .

Аммонийно-нитратные удобрения. Аммонийная (аммиачная) 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. Взрывоопасна. Хранить ее необходимо в сухом помещении, оборудованном противопожарными средствами.

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. Для нейтрализации подкисляющего действия 1 ц NH_4NO_3 требуется 0,75 ц CaCO_3 .

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:



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.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция, в почвенном растворе образуется азотная кислота, вследствие чего он подкисляется. Однако подкисление это недолговременно, так как оно исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. 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. Под яровые культуры аммонийную селитру в виде основного удобрения вносят весной под предпосевную культивацию во избежание потерь азота от вымывания. На легких почвах при основном внесении возможны большие потери азота при внесении.

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.

Амидные удобрения. Карбамид (мочевина), $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$ содержит 46 % азота и является самым концентрированным из твердых азотных удобрений. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлениях и температуре:



Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Гигроскопичность кристаллической мочевины при температуре до 20 °С сравнительно небольшая, но с повышением температуры заметно увеличивается и при хранении может слеживаться. Поэтому для улучшения физических свойств в настоящее время мочевина выпускается в гранулированном виде. При грануляции карбамида образуется биурет, содержание которого не должно превышать 1 %. При высоком содержании (3 % и более) биурет оказывает вредное действие на растения. В почве карбамид полностью растворяется почвенной влагой и под влиянием удобрений, выделяющих фер-

мент уреазу, за два-три дня аммонифицируется и превращается в углекислый аммоний:



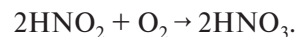
Углекислый аммоний — соединение непрочное, на воздухе разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака:



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 гидроокиси аммония NH_4OH :



Образующийся при внесении мочевины в почву аммоний поглощается ее коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями. Установлено, что мочевина может поглощаться корнями, а также листьями растений без предварительного превращения в углекислый аммоний. Однако пока мочевина не подверглась аммонификации, она может вымываться из почвы. 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:



Для устранения подкисляющего действия 1 ц $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ требуется 0,83 ц CaCO_3 .

Таким образом, мочевина является физиологически и биологически кислым удобрением.

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

ностные 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. Поэтому мочевину, как при основном внесении, так и при подкормке, следует сразу заделывать в почву. Однако при внесении карбамида на влажной почве потери азота значительно снижаются. Карбамид рекомендуется вносить в качестве основного удобрения. Можно и для подкормки озимых и яровых зерновых культур, пропашных и овощных культур (при температуре воздуха не выше 20 °С. Эффективны также некорневые подкормки зерновых культур в период вегетации, особенно при возделывании их по энергосберегающим технологиям, 5–10%-ми растворами мочевины с добавлением ретардантов, гербицидов и пестицидов. Для сахарной и столовой свеклы для некорневых подкормок концентрация карбамида рекомендуется 1,5–2,0 %, картофеля, капусты 0,8–1,6 %, кукурузы, томата — 0,4–0,6 %, огурца — 0,3 %, яблони, вишни, сливы — 0,6–1,8 %.

Жидкие азотные удобрения. К жидким аммиачным удобрениям относятся безводный аммиак, аммиачная вода.

Безводный аммиак (NH_3) является самым концентрированным и дешевым удобрением, содержит 82,3 % азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. Бесцветная, подвижная жидкость, плотность 0,61 г/см³ при 20 °С, температура кипения 34 °С. 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). Он хорошо используется растениями и по эффективности не уступает твердым азотным удобрениям. Аммиак поглощается почвой и не вымывается, поэтому его можно вносить осенью или весной.

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 и подкисляет почву. Для нейтра-

лизации подкисляющего действия 1 ц аммиака требуется 1,5 ц CaCO_3 .

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. Чтобы избежать потерь азота, безводный аммиак заделывают на глубину 12–16 см на дерново–подзолистых суглинистых и на глубину 16–20 см на супесчаных почвах. Для внесения используют специальные машины АБА-0.5М, АБА-1, АША-2 и другие в агрегате с культиватором КРН-4,2. Безводный аммиак можно вносить в качестве основного удобрения и в подкормку с обязательной заделкой в почву.

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. 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 желательнее вносить весной. Как и безводный аммиак, аммиачная вода подкисляет почву и для нейтрализации 1 ц этого удобрения требуется 0,3–0,4 ц CaCO_3 .

Аммиачную воду вносят специальными машинами (ПОУ) с приспособлением УЛП-8 для заделки в почву. Учитывая, что аммиак в почве перемещается на 10–12 см, для культур сплошного сева расстояние между сошниками (наконечниками) при внесении аммиачных удобрений должно быть не более 20–25 см, а для пропашных культур должно равняться ширине одного междурядья. 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 содержа-

ния последнего в почве. В последнее время в Беларуси безводный аммиак и аммиачная вода не применялись.

Карбамид-аммонийная селитра (КАС) представляет собой водный раствор карбамида и аммиачной селитры ($\text{CO}(\text{NH}_2) + \text{NH}_4\text{NO}_3$) (табл. 5.4).

Таблица 5.4. Состав и свойства растворов КАС

Свойства	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Состав по массе, %:			
NH_4NO_3	40,1	42,2	43,3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30,0	37,7	36,4
H_2O	29,9	25,1	20,3
Плотность при $15,6^\circ\text{C}$, т/м ³	1,283	1,303	1,327
Температура выпадения кристаллов, $^\circ\text{C}$	–18	–10	–2

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. Доза КАС на 1 га в зависимости от дозы азота и марки КАС приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Доза КАС на 1 га в зависимости от планируемой дозы азота и марки удобрения

Доза азота, кг/га	КАС-28		КАС-30		КАС-32	
	кг	л	кг	л	кг	л
10	36	28	33	26	31	24
20	71	56	67	52	63	49
30	107	84	100	78	94	73
40	143	112	133	104	125	98
50	179	140	167	130	156	122
60	214	167	200	156	188	146
70	250	195	233	182	219	171
80	286	223	267	208	250	195
90	321	251	300	234	281	220
100	357	279	333	260	313	244
110	393	307	367	286	344	269
120	429	335	400	312	375	293

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. 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.

Так как наиболее устойчив к кристаллизации КАС-28, в холодное время года к КАС-30 и КАС-32 рекомендуется добавлять на 100 л раствора 7 и 14 л воды соответственно, что позволяет их превратить в КАС-28.

КАС применяют для основного внесения и подкормок. Удобрение имеет высокую плотность, что позволяет значительно сократить затраты на транспортировку и хранение. Так, при равном объеме удобрений КАС-32 содержит в 1,3 раза азота больше, чем мочевины, и в 1,5 раза больше, чем аммиачная селитра. Для поверхностного внесения КАС используют широкозахватные штанговые опрыскиватели ПОМ-630, ПОМ-2000, ОПШ-15 и др. Для локального внутрпочвенного внесения используют ПЖУ-2,5, ПЖУ-5, РОСА. Можно также использовать машину РЖТ-4 М, выпускаемую Оршанским трактороремонтным заводом.

КАС можно применять под все культуры, но наиболее целесообразно под зерновые.

Опрыскиватели позволяют более равномерно внести КАС, чем центробежные разбрасыватели твердых азотных удобрений. Только за счет более равномерного внесения прибавка урожайности зерновых культур при использовании КАС по сравнению с твердыми азотными удобрениями составляет 2–3 ц/га зерна. Используется дефлекторный распылитель РД-110-4.

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

Допускается разбавление КАС с учетом конструктивных особенностей опрыскивателей. Для ранневесенней подкормки ози-

мых зерновых культур, когда стоит прохладная погода (ниже 10 °С), удобрение можно применять без разбавления в дозе 60–80 кг/га азота. При проведении подкормки в более поздние сроки (конец кущения — начало выхода в трубку) доза азота при температуре 16–18 °С не должна превышать 20–30 кг азота. При этом необходимо проводить разбавление водой 1:2, а при совместном внесении с фунгицидами, ретардантами — 1:3–4.

Во избежание ожогов подкормки проводят в более поздние фазы развития зерновых в утренние и вечерние часы (температура воздуха не должна превышать 18 °С). Ожоги усиливаются при сильной инсоляции, во влажную погоду или после дождя, когда ткани листьев размягчаются. Совмещение операций по внесению КАС со средствами защиты растений, микроэлементами позволяет на 20 % экономить затраты энергоресурсов, что имеет большое значение при использовании энергосберегающих технологий.

Можно применять КАС в прохладную погоду на сенокосах (до 80 кг) и на пастбищах (60 кг/га д. в.).

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

Установлено, что 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. 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.

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 прони-

кать через устьица, но лишь в том случае, если смачивающий раствор снижает поверхностное натяжение.

Кроме морфологических особенностей листьев скорость поступления и усвоения элементов питания зависит также от особенностей последних. Так, исследованиями установлено, что 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 водности тканей растений (у завядших растений оно ослабевает).

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.

Таким образом, использование КАС в сельском хозяйстве имеет несомненные преимущества перед твердыми удобрениями: обеспечивается полная механизация всех погрузочно-разгрузочных работ, резко уменьшаются затраты на производство и применение, осуществляется более точная дозировка при низких дозах удобрений, происходит быстрое поглощение азота через листья, улучшаются условия труда, исключается расход тары и снижается проблема слеживаемости, обеспечивается высокая равномерность внесения, упрощается приготовление необходимых тукосмесей, в том числе с добавкой фосфора, калия, микроэлементов и пестицидов, усиливается действие пестицидов при внесении их в КАС.

В связи с вышеизложенными достоинствами применение КАС в последнее время возрастает.

Карбамид жидкий — азот (N) — не менее 17 %. Разрешен для применения на озимых зерновых культурах, кукурузе, рапсе и других крестоцветных. Производитель УП «Азот Химфортис».

Медленнодействующие азотные удобрения — это слаборастворимые в воде азотные удобрения, азот которых медленно переходит в растворимую форму, постепенно используется растениями в течение вегетации, из этих форм потери азота снижаются по сравнению со стандартными формами.

В Беларуси разработано несколько форм медленнодействующих азотных и комплексных азотно-фосфорных удобрений, кото-

рые наряду с макроэлементами содержат биологически активные соединения или регуляторы роста.

Карбамид с регулятором роста растений ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) содержит 46 % азота в амидной форме и регулятор роста растений гуминовой природы, выделенный из торфа, — гидрогумат — 0,05–0,10 % от массы удобрения. По внешнему виду карбамид с регулятором роста растений представляет гранулы светло-коричневого цвета, которые характеризуются хорошими физико-химическими свойствами. Степень растворимости его в почве в 1,1–1,3 раза медленнее, чем обычного карбамида.

В составе действующих веществ гидрогумата на долю гуминовых кислот, гуминоподобных веществ приходится 70–80 %, кроме того 15–20 % биологически активных карбоновых кислот, 4–5 % аминокислот. Действующие вещества Оксигумата содержат до 60 % высокомолекулярных гуминовых кислот и до 40 % низкомолекулярных соединений: фульвокислот (28–30 %), органических кислот (13–15 %) и пектинов (5–8 %).

Названные выше препараты безвредны для человека, животных, водной фауны, полезных насекомых, почвенной микрофлоры и разрешены к применению со стандартной мочевиной в сельском хозяйстве.

По сравнению со стандартной мочевиной карбамид с гуматсодержащими добавками обладает улучшенными свойствами. Прочность гранул этого удобрения по сравнению со стандартным увеличивается на 25 % при одновременном снижении слеживаемости на 29 %.

Применение карбамида с регулятором роста растений обеспечивает снижение потерь азота, повышает урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых почвах на 10–15 %, пропашных — на 20–25 %. Рекомендуются для внесения под все полевые и овощные культуры, а также для подкормки зерновых культур, озимого и ярового рапса, многолетних трав и других сельскохозяйственных культур.

Сульфат аммония с защитным покрытием гранулированный с регулятором роста содержит 20,5–21 % азота и 24 % серы, органические вещества. Удобрение обладает пониженной растворимостью (степень замедления его растворимости в воде и в почве в 1,3–1,6 раза ниже, чем стандартного сульфата аммония) и продленным

сроком доступности азота и серы для растений в течение вегетационного периода. Удобрение снижает потери азота при вымывании в среднем на 25 %, серы на 20 %, увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур в среднем на 16 %, улучшает качество продукции (картофель, овощи, кормовые культуры). Разрешен для применения на яровых зерновых культурах, картофеле, овощных (лук репчатый, чеснок, капуста). Производитель — ООО «Белагроферт».

Жидкое азотное медленнодействующее удобрение КАС с регуляторами роста растений и микроэлементами содержит 26–32 % азота, 0,2–0,4 % меди, 0,1–0,2 % марганца, регулятор роста растений Гидрогумат или Эпин. Плотность раствора удобрения при 15 °С составляет 1,275–1,32 г/см³, рН — 8,5–8,9, температура кристаллизации растворов — 13–20 °С, замерзания — 26,5 °С. По сравнению со стандартным удобрением КАС с регуляторами роста и микроудобрениями обеспечивает повышение урожайности зерна озимой и яровой пшеницы, семян ярового и озимого рапса на 10–25 % с более высоким качеством продукции. Рекомендуется для основного внесения в почву или подкормок под все сельскохозяйственные культуры на любых почвах, но наиболее целесообразно его применение под зерновые культуры и кукурузу.

5.2.5. Способы повышения эффективности азотных удобрений

Применение азотных удобрений имеет решающее значение в повышении урожайности сельскохозяйственных культур на большинстве почв Беларуси. 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. Особенно эффективны азотные удобрения в условиях хорошей влагообеспеченности на бедных гумусом дерново-подзолистых почвах. Каждый килограмм азота при оптимальных дозах дает на этих почвах прибавку урожая озимой ржи, пшеницы и яровых зерновых 8–15 кг, льна-долгунца (волокна) — 3–6, картофеля — 50–100, зеленой массы кукурузы —

70–100, сена луговых трав — 20–35 кг, 30–40 кг корнеплодов сахарной свеклы.

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 доз, 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. 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.

Вследствие низкого коэффициента использования (40–50 %) и высокой подвижности азота в почве создается его дисбаланс в земледелии. Избыточный азот загрязняет окружающую среду. Поэтому нужна надежная научно обоснованная и проверенная практикой земледелия диагностика оптимизации доз азотных удобрений.

В большинстве случаев под конкретную сельскохозяйственную культуру оптимальную дозу азотного удобрения определяют по данным полевых опытов, проводимых научно-исследовательскими учреждениями и по результатам агрохимического анализа почвы на содержание гумуса и другим показателям.

Рациональная система применения азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры должна учитывать биологические особенности растений в потреблении азота в онтогенезе, действие азотных удобрений на урожайность и качество выращиваемых культур, особенности трансформации соединений азота почвы и удобрений, охрану окружающей среды.

Внесенный в почву азот удобрений не только используется растениями, но и под воздействием различных микроорганизмов подвергается превращениям, в результате его содержание в минеральной форме быстро уменьшается и значительное количество переходит в различные органические соединения.

Исследования при помощи меченых атомов показали, что в среднем 20–30 % внесенного азота закрепляется в органическом веществе почвы и практически не используется в первый год. Этот азот принимает участие в питании последующих культур, причем степень его использования из года в год уменьшается.

Закрепление азота зависит от формы удобрений, типа почвы, наличия органических остатков, а также вида возделываемых культур. Из аммиачных форм удобрений и мочевины больше закрепляется азота (около 40 % от внесенного), чем из нитратных (20 %). На хорошо окультуренных почвах, а также почвах, богатых гумусом, при совместном внесении минеральных и органических удобрений закрепление азота возрастает.

Внесенный в почву катион NH_4^+ поглощается обменно в доступной для растений форме, а также закрепляется в трудноусвояемой форме. Закрепление минеральных соединений азота в почве в трудноусвояемой для растений форме может также происходить в результате фиксации катионов аммония и аммиака (NH_4 и NH_3) глинистыми минералами, химического связывания NH_4 и NH_3 почвенным органическим веществом.

Необменная фиксация азота в аммонийной форме составляет 1/4–1/5 от общего количества закрепленного почвой азота удобрений. Это может играть положительную роль, поскольку фиксация аммония предохраняет азот от вымывания и процессов денитрификации.

Присутствие большого количества водорастворимого и обменного калия в почве блокирует освобождение фиксированного аммония из глинистых минералов, резко снижает доступность его растениям и нитрификацию бактериями. Однако растения, а также гетеротрофные микроорганизмы, потребляя сравнительно большое количество калия, снижают блокирующее его действие на освобождение и усвоение фиксированного аммония.

Несмотря на то, что фиксирующая способность различных почв может колебаться в значительных пределах, в большинстве случаев фиксированный аммоний остается доступным растениям.

Химическое связывание NH_3 происходит в результате присоединения его к фенольным гидроксильным группам органических веществ с последующим включением в состав гетероциклических колец и переходом в химически устойчивую форму.

Связывание NH_4^+ и NH_3 в сильной степени зависит от содержания органического вещества в почве. В торфяно-болотных почвах этот процесс протекает активнее, в минеральных почвах с невысоким содержанием гумуса (особенно кислых дерново-подзолистых) химическое связывание аммиачного азота органическим веществом при внесении средних доз аммиачных удобрений невелико и не может оказать существенного влияния на доступность растениям азота. Таким образом, основная роль в закреплении как аммиачного, так и нитратного азота в большинстве почв принадлежит биологической иммобилизации — превращению его в органическую форму.

Соотношение скорости процессов иммобилизации и минерализации определяет преобладание одного процесса над другим и зависит от формы азотного удобрения и наличия органического вещества. Максимальная скорость процессов минерализации и иммобилизации отмечается в первые 5 дней после внесения азота и происходит в основном в первые 2–3 недели.

Исследования, проведенные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН РБ, показали, что при температуре 17–20 °С превращение аммонийного и амидного азота в окисленную форму в дерново-подзолистых почвах происходит в основном в течение 30 суток.

При низкой температуре (5–7 °С) интенсивность процесса аммонификации значительно выше интенсивности нитрификации. В почве при низких температурах больше всего азота в нитратной форме накапливается при внесении аммонийной селитры. На основании этого Н. Н. Семененко делает вывод, что в период ранневесенней подкормки озимых зерновых культур при прохладной погоде целесообразно применять амидные и аммонийные формы азотных удобрений.

На эффективность азотных удобрений наиболее сильное влияние оказывает водообеспеченность. При достаточном увлажнении их действие усиливается. Этот факт можно регулировать с помощью орошения.

На усвоение азота оказывает влияние концентрация углекислого газа. В период интенсивного роста растения, имеющие большую вегетативную массу (например, кукуруза), полностью «выедают» углекислый газ, и его может не хватать. Здесь положительное

влияние на использование азота почвы и урожай оказывает применение органических удобрений.

Важным моментом является соотношение питательных элементов в питании растений. Имеются данные о том, что эффективность азота проявляется лишь при достаточной обеспеченности растений фосфором. Естественно, с повышением доз макроэлементов увеличивается потребность и в микроэлементах.

Различные сорта и гибриды неодинаково отзываются на применение возрастающих доз минеральных удобрений. Одним из показателей такой способности может служить активность фермента нитратредуктазы — ключевого фермента азотного обмена, ответственного за восстановление в растении поглощенных нитратов. В связи с этим селекция зерновых культур должна быть направлена на создание сортов с высокой активностью фермента нитратредуктазы, способных много использовать азота и накапливать зерно с высоким содержанием белка. Таким образом, большой вклад в создание новых сортов зерновых и других сельскохозяйственных культур, способных продуктивно использовать азот вносимых удобрений, может внести новое направление в генетике и агрохимии — генетика минерального питания растений.

Чтобы получить максимальную отдачу от азотных удобрений, следует рационально распорядиться имеющимся в Беларуси ассортиментом азотных удобрений. Исследования, проведенные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН РБ, показали, что наиболее эффективными формами азотных удобрений на зерновых культурах при дробном внесении являются КАС и аммиачная селитра, картофеле — сульфат аммония и мочевины, на многолетних злаковых травах — сульфат аммония и аммиачная селитра. Следует отметить, что внесение твердых форм азотных удобрений связано с большой неравномерностью (30–60 % и более), что резко снижает их эффективность. Поэтому в производственных условиях более высокие прибавки достигаются при внесении КАС с помощью опрыскивателей, а мочевины и других твердых форм азотных удобрений — с помощью сеялок, разбрасывателей, позволяющих равномерно вносить их в почву (РШУ-12 и др.).

В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработана система оптимизации применения азотных удобрений под зерновые культуры, картофель и многолетние травы на основе почвенно-

растительной диагностики азотного питания растений. Применение этой системы дает экономию азота удобрений 20–40 кг/га д. в., снижение удельных энергетических затрат на 16–51 % на зерновых культурах и в 1,5–2,0 раза — на картофеле и потерь азота почвы и удобрений на 10–20 %. Реализация данной системы обеспечивает также содержание нитратов в продукции ниже ПДК и снижение загрязнения окружающей среды азотистыми соединениями.

Решить важнейшую задачу рационального использования удобрений, предотвратить потери питательных элементов из удобрений и почвы в окружающую среду позволяет применение медленнодействующих азотных удобрений (медленнодействующей мочевины, сульфата аммония с полимерным покрытием и др.). Их применение позволит снизить потери общего азота на легких почвах на 27–46 %.

Усиливается поступление азота, других элементов питания при локальном внесении удобрений. Как показали исследования, при ленточном внесении удобрений в почве создаются очаги повышенной концентрации питательных элементов, которые более интенсивно и полно поглощаются растениями, чем при разбросном внесении.

В результате при локальном внесении удобрений создаются более благоприятные условия питания растений, коэффициенты использования азота из минеральных удобрений увеличиваются на 10–15 %.

В настоящее время разработаны экологические ограничения на применение азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры, обеспечивающие в сочетании с фосфорно-калийными и органическими удобрениями высокие урожаи, содержание нитратов в пределах ПДК и хорошее качество продукции (табл. 5.6).

Указанные дозы азотных удобрений не лимитируют получение урожаев зерновых культур на уровне 60–80 ц/га, картофеля — 350–400, кормовых корнеплодов — 800–1000, капусты — 800, столовой свеклы — 600, моркови — 600, томатов, огурцов, лука — 350 ц/га.

В условиях Беларуси, особенно в южных районах, после уборки зерновых нередко поля в течение 1,5–2 месяцев не заняты посевами. В этот период в условиях влажности и тепла, как правило, благоприятных для минерализации органического азота и нитрификации, в почве накапливаются нитраты, значительная часть

которых при обильных осенних осадках выщелачивается в нижележащие горизонты, попадает в грунтовые воды. Предотвращение потери азота и других подвижных элементов в таких условиях обеспечивают посевом промежуточных культур.

Таблица 5.6. Максимальные дозы азотных удобрений, рекомендуемые при возделывании сельскохозяйственных культур

Культуры	Органические удобрения, т/га (фон)	Максимальная допустимая годовая доза азота, кг/га д. в.
Озимые зерновые (зерно)	20–30	110
Яровые зерновые (зерно)	–	110
Картофель (клубни)	60–70	110
Сахарная свекла (корнеплоды)	75–80	120
Кормовая свекла (корнеплоды)	75–100	150
Кукуруза (зеленая масса)	60–70	150
Многолетние злаковые травы (сено)	–	180
Овощи открытого грунта:		
капуста	70	120
свекла столовая	40	90
морковь	–	90
томаты	40	90
огурцы	120	90
лук-репка	40	90
зеленные культуры	40	60

Как показали исследования, проведенные на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, насыщение промежуточными культурами полевых и кормовых севооборотов до 25 % повысило общую продуктивность пашни на 14–16 %, а выход переваримого протеина — на 20–23 %. После промежуточных культур оставалось 2,0–2,7 т/га абсолютно сухой органической массы корневых и пожнивных остатков (с содержанием азота в них 26–40 кг азота).

Азотные удобрения не только повышают урожайность, но и положительно влияют на качество сельскохозяйственной продукции.

По данным опытов, проведенных научно-исследовательскими институтами Беларуси, при внесении азотных удобрений содержание белка в зерне озимой пшеницы возрастало на 4,3 %, в ячме-

не — 2–3 %, в озимой ржи — на 1,4–2,5 %. Поздние подкормки зерновых культур азотом незначительно влияют на урожайность зерна, но существенно улучшают качество зерна. Так, по данным кафедры агрохимии УО БГСХА поздняя подкормка азотом в фазу колошения повышала содержание сырой клейковины в зерне озимой пшеницы на 2,4 %.

Сбалансированное азотное питание повышает содержание витаминов в растениях, увеличивается содержание аскорбиновой кислоты, каротина, тиамина, рибофлавина и миозина.

В исследованиях Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси под влиянием азотных удобрений (60–120 кг/га) количество незаменимых аминокислот в зерне озимой пшеницы возрастало на 3,3–8,9 мг/кг, или на 13–36 %, в ячмене (N_{60–150}) — на 2,6–6,4 мг/кг, или на 9–22 %.

В тоже время избыточное азотное питание приводит к снижению крахмала в клубнях картофеля. В сахарной свекле под влиянием высоких доз азота снижается сахаристость и ухудшаются технологические качества. Повышенные дозы азота отрицательно сказываются на качестве продукции многих сельскохозяйственных культур, могут способствовать и значительному накоплению нитратов и нитритов в растениях. Все это лишним раз подчеркивает, насколько важно оптимизировать азотное питание растений.

5.3. Фосфорные удобрения

5.3.1. Физиологическая роль фосфора и его источники питания растений

Фосфор — важнейший биогенный элемент, который необходим для жизнедеятельности всех организмов. 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 назван ключом жизни.

Фосфор был открыт в 1669 г. Х. Брандом. Название происходит от греческого *phosphoros* — светоносный.

Фосфор содержится в растениях в органических и минеральных соединениях. Обычно большая часть фосфора, содержащаяся в растениях (до 90 %), представлена различными органическими соединениями. В репродуктивных органах фосфор концентрируется в наибольшей степени. Семена должны содержать фосфора в количестве, достаточном до начала его поглощения из почвы сформировавшимися корнями.

Фосфор содержится в клеточной протоплазме, входит в состав хромосом, нуклеиновых кислот, нуклеотидов, фосфопротеидов, некоторых витаминов, ферментов, эфиров, фитина, других органических соединений. Фосфор является обязательным компонентом ряда коферментных систем, катализирующих ряд реакций азотного обмена.

Важными органическими фосфорсодержащими соединениями в растениях являются нуклеиновые кислоты, играющие важную роль в наследственных функциях организма. В растениях на долю нуклеиновых кислот приходится от 0,1 до 1 %. Содержание фосфора в нуклеиновых кислотах в пересчете на P_2O_5 составляет около 20 %. Нуклеопротеиды, представляющие собой соединения белков с нуклеиновыми кислотами, являются важнейшим веществом клеточных ядер.

Фосфор входит также в состав фитина, лецитина, сахарофосфатов и других органических соединений. Фитин является запасным веществом, и фосфорная кислота, входящая в его состав, используется при прорастании семян. Лецитин — представитель группы фосфатидов, накапливается преимущественно в семенах. Ключевая позиция в обмене веществ принадлежит макроэргическим соединениям, содержащим фосфор. В настоящее время известно большое число макроэргических соединений, в состав большинства из которых входит фосфор. Однако основная роль среди них принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). Это своеобразный хранитель и носитель энергии во многих синтетических процессах. При гидролизе АТФ, входящей в состав РНК, высвобождается около 55 КДж/моль. В то же время свободная энергия гидролиза обычных связей составляет только 8–12 КДж/моль. Макроэргические фосфатные связи принимают участие в процессах фотосинтеза, дыхания, биосинтеза белков, жиров, крахмала, сахарозы, ряда аминокислот и других соединений.

При участии фосфора осуществляется углеводный обмен в растениях. Фосфорная кислота принимает активное участие в биосинтезе сахарозы, ферментативных превращениях форм углеводов, в их передвижении, оттоке в клубни картофеля, корнеплоды сахарной свеклы и т. д. В связи с этим фосфорные удобрения положительно влияют на накопление в растениях крахмала, сахаров, других углеводов, улучшают качество льна и конопли. Фосфор также благоприятствует накоплению в плодах красящих и ароматических веществ.

Особенно чувствительны к недостатку фосфора растения в начальных фазах роста и развития, когда их корневая система обладает слабой усваивающей способностью. Замечено, что в начальные стадии развития сельскохозяйственные культуры интенсивнее поглощают фосфаты, чем в последующие периоды роста. Оптимальное фосфорное питание в начальный период роста и развития растений способствует развитию корневой системы — она глубже проникает в почву и лучше ветвится, что улучшает снабжение растений влагой и питательными элементами. Фосфор способствует более экономному расходованию влаги. Это имеет особенно большое значение в засушливые периоды.

В связи с таким большим значением фосфора в первые периоды роста и развития растений припосевное внесение в рядки небольших доз фосфорных удобрений обеспечивает значительные прибавки урожая самых различных культур. Наибольшее потребление фосфора зерновыми культурами наблюдается в фазы выхода в трубку и колошения.

В минеральной форме фосфор находится в растениях в виде солей ортофосфорной кислоты с кальцием, магнием, калием, аммонием и другими катионами. Минеральный фосфор является не только запасным веществом, резервом для синтеза органических фосфорсодержащих соединений, но и повышает буферность клеточного сока, поддерживает тургор клетки, другие жизненно важные процессы в ней. В связи с тем, что фосфор усиливает способность растительных клеток удерживать воду, он повышает устойчивость растений к засухам и низким температурам. Хорошее фосфорное питание улучшает перезимовку озимых культур благодаря остаточному накоплению сахаров в узлах кущения с осени.

При пониженных температурах (10–11 °С) затрудняется использование растениями фосфора. Исследованиями установлено, что понижение температуры до 5–7 °С мало влияло на поступление калия в растения, но резко уменьшало поглощение ими азота и фосфора. Увеличением доз фосфорных удобрений можно усилить поглощение фосфора и снизить отрицательное влияние холодов на растения.

У молодых растений фосфор концентрируется преимущественно в меристематической ткани. Он легко передвигается внутри растений и перемещается из старых тканей в более молодые, т. е. реутилизируется (используется повторно). По мере созревания культур большая часть усвоенного растениями фосфора сосредотачивается в семенах и плодах (в семенах злаков до 50 %).

Из внешних признаков при недостатке фосфора наблюдается скручивание краев листовой пластинки, грязно-зеленая, более темная окраска листьев. При недостатке фосфора кроме более темной окраски листьев вследствие образования антоциана нередко появляются еще красноватые и фиолетовые тона, в особенности у основания стеблей, на влагалищах листьев и черешках. От недостатка фосфора больше страдают более старые — нижние листья.

При нехватке фосфора в растениях больше накапливается нитратов, что связано с важным значением соединений типа НАД и НАДФ при восстановлении нитратов.

Фосфор снижает токсичность алюминия, марганца и железа. Благодаря тому, что фосфор связывает подвижный алюминий почвы, фиксирует его в корневой системе, улучшается углеводный и азотный обмен в растениях.

При высоком содержании в почве меди снижается потребление растениями фосфора и увеличивается эффективность фосфорных удобрений. Применение цинковых удобрений снижает поступление в растения фосфора.

Фосфор является спутником азота и белковых соединений. Фосфора содержится в растениях в 2–3 раза меньше, чем азота. При недостатке фосфора замедляется синтез белков и уменьшается их содержание. Поэтому дозы азотных и фосфорных удобрений должны быть сбалансированными.

Исследования, показали, что небольшое количество азота, входящее в состав фосфорного удобрения, делает его более эффективным.

Избыток фосфора также неблагоприятно влияет на растения. В этом случае много фосфатов находится в растениях в минеральной форме, особенно в вегетативных органах. В случае избыточного поступления фосфора растения преждевременно созревают и не успевают синтезировать хороший урожай. При избытке фосфора ухудшается питание цинком, что приводит к заболеванию плодовых культур розеточностью.

Большое значение имеет фосфор в жизни человека и сельскохозяйственных животных. Он входит в состав костной ткани и играет незаменимую роль в процессах, от которых зависят основные жизненные функции организма (обмен веществ, размножение и т. д.). При недостатке фосфора у человека и животных развивается остеопороз и другие заболевания костей. Суточная потребность в фосфоре составляет 1,0–1,5 г. Отмечается достоверная связь между содержанием фосфора в кормах и продуктивностью животных. Оптимальное содержание фосфора в кормах — 0,35–0,5 % сухого вещества.

Основной источник фосфора для растений в природе — соли ортофосфорной кислоты. Из солей полифосфорных кислот фосфор может быть использован после их гидролиза. Будучи трехосновной, ортофосфорная кислота может диссоциироваться 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 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Двухзамещенные 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 слож-

ных 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.

Исследованиями Н. М. Глазуновой с использованием анионитов показано, что 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. 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.

Французский ученый А. Демолон пришел к выводу, что оптимальная для растений концентрация P_2O_5 в почвенном растворе — 1,2 мг/л. Однако обычно она значительно ниже (0,05–1 мг/л), и поэтому необходимо внесение фосфорных удобрений.

По данным немецкого ученого В. Матцеля, корни могут поглощать фосфор, находящийся на расстоянии не более чем 2 мм от них, и даже в период максимального развития корневой системы растения используют фосфор примерно только из четверти всего объема пахотного слоя.

5.3.2. Содержание, формы соединений фосфора в почве, круговорот и баланс его в земледелии

Обеспеченность растений фосфором во многом зависит от запасов его в почве, степени подвижности, гранулометрического состава и ряда других условий, влияющих на использование фосфора из почвы и удобрений. Все формы фосфора в почве, возможные вариации их воздействия можно изобразить в цепочке: валовой — органический — минеральные соединения P_2O_5 — потенциально доступный P_2O_5 — непосредственно доступный P_2O_5 .

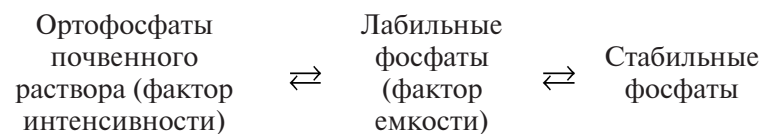
Важным показателем потенциального плодородия почв является содержание валового фосфора. Он состоит из органических и минеральных соединений. Общее содержание фосфора может колебаться в зависимости от гранулометрического состава почвы, степени ее окультуренности, от особенности материнской породы, генезиса.

По данным Т. Н. Кулаковской, И. Р. Вильдфлуша и др., содержание валового фосфора в дерново-подзолистых глеевато-легко- и среднесуглинистых почвах составляет 0,14–0,16 %; в легкосуглинистых, развивающихся на моренном суглинке, — 0,09–0,12, супесчаных, подстилаемых моренным суглинком, — 0,07–0,12, песчаных — 0,06–0,08 %.

Верхние горизонты, как правило, независимо от типа почвы и гранулометрического состава, больше содержат общего фосфора, чем нижележащие. Это связано с биологическим фактором и деятельностью человека. Развитие почвообразовательного процесса связано с постепенным переносом фосфатов корневой системой растений из нижележащих горизонтов в верхние.

Органические и минеральные фосфаты находятся в состоянии взаимопревращений. Соотношение между этими формами фосфора определяется направленностью почвообразования. В дерново-подзолистых почвах минеральные фосфаты преобладают над органическими. Содержание органического фосфора в этих почвах составляет 16–48 % от общего и в тяжелых почвах выше, чем в легких. В отличие от дерново-подзолистых почв в торфяно-болотных почвах, наоборот, содержание органических фосфатов преобладает над минеральными и достигает 70 %.

Минеральные фосфаты в почвах по степени участия в фосфорном питании растений можно в упрощенной схеме разделить на следующие три группы, находящиеся в постоянном обмене и динамическом равновесии:



Первая группа — ортофосфаты почвенного раствора, полностью доступные растениям. Это однозамещенные водораство-

римые фосфаты кальция и магния, фосфорнокислые соли одновалентных катионов калия, натрия, аммония и др. Эта фракция интенсивно используется растениями в начальный период роста и развития растений. О степени подвижности фосфатов в почвах (фактор «интенсивности») можно судить по способности твердых фаз почвы отдавать в раствор ионы фосфора. Мерилом этой способности является установление содержания фосфора в почвенном растворе.

Однако выделение почвенного раствора очень сложно, поэтому исследователями предложены водные слабосолевые вытяжки при узком соотношении почвы к раствору, что позволяет получать данные, близкие к концентрации фосфора в почвенном растворе. Наибольшее распространение из этой группы методов получил метод Скофилда — определение фосфора в 0,01М CaCl₂ вытяжке.

В Беларуси принята следующая градация почв по методу Скофилда (мг P₂O₅ на 1 л): 1) низкое — менее 0,1; 2) среднее — 0,1–0,2; 3) повышенное — 0,21–0,60; 4) высокое — 0,61–2,0; 5) очень высокое — более 2,0.

Лабильные фосфаты — это фосфаты, осевшие или адсорбированные на поверхности твердых частиц почвы, почвенно-поглощающего комплекса, оксидах железа и алюминия, а также вторичные, которые образовались после формирования почвы. Ученые считают, что 4–10 % всего почвенного фосфора связано адсорбционно. В отличие от первичных минералов вторичные фосфаты являются активной мобильной составной частью почвы. К ним относятся дегидрокальцийфосфат (CaHPO₄ · 2H₂O), октакальцийфосфат (Ca₈H(PO₄)₃), одно- и двухзамещенные фосфаты железа. При нарушении фосфорного 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. Для определения величины запаса подвижных фосфатов используют (в зависимости от типа и состава почв) кислотные (табл. 5.7), щелочные, буферные растворители, анионно-обменные смолы, радиоизотопный метод и др. В Беларуси широко используется метод Кирсанова.

Таблица 5.7. Группировка почв Беларуси по содержанию подвижных форм фосфора по методу Кирсанова

Группа почв по содержанию питательных элементов	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	
	минеральные	торфяные
1. Очень низкое	Менее 60	Менее 200
2. Низкое	61–100	201–300
3. Среднее	101–150	301–500
4. Повышенное	151–250	501–800
5. Высокое	251–400	801–1200
6. Очень высокое	Более 400	Более 1200

Стабильные фосфаты — труднорастворимые соединения, заключенные в почве в первичных и вторичных минералах (окклюдируемые гидратами полутораоксидов, карбонатами и др.). Наиболее устойчивой формой, медленно поддающейся химическому и биологическому воздействию, является фосфор в составе кристаллической решетки первичных минералов почвы: апатитов, фосфоритов, варисцитов, стренгитов, вивианитов. Фосфаты третьей группы почти недоступны для растений. Однако в процессе выветривания они могут становиться более доступными и служить источником фосфорного питания.

Органические фосфаты в почве представлены различными по природе группами соединений: индивидуальной природы (неспецифические органофосфаты) и гумусообразования (специфические соединения). Неспецифические органофосфаты относят к трем основным классам соединений: фосфолипиды, нуклеиновые кислоты и 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 и гумус. 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 аминокислотами и другими соединениями.

По новейшим данным многих авторов, больше половины фосфорорганических соединений представлены новообразованными

специфическими фосфогумусными соединениями. Формы этих соединений пока неясны, хотя некоторые данные позволяют считать, что фосфор в них связан с гумусовыми кислотами через ион металла.

Исследования кафедры агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии показали, что в гумусе дерново-подзолистых почв содержится 0,8–3,5 % P_2O_5 к его массе. Причем, как правило, чем меньше гумуса в почве, тем выше его насыщенность органическим фосфором.

Природные фосфорорганические соединения претерпевают в почвах физико-химические изменения в результате реакций хелатообразования, сорбции, химического гидролиза, ферментативных превращений и окислительно-восстановительных реакций. В результате этих процессов значительная часть органических фосфатов минерализуется и пополняет запасы потенциально доступных минеральных форм.

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.

Процессы превращения недоступных для растений минеральных и органических соединений фосфора в усвояемую форму протекают очень медленно. Несмотря на большие общие запасы фосфора в почве, его доступных соединений в ней содержится обычно мало, поэтому чтобы получать высокие устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо применять фосфорные удобрения.

Как показали исследования, на более кислых дерново-подзолистых почвах происходит связывание фосфора, главным образом, полуторными оксидами алюминия и железа, на менее кислых почвах начинает возрастать связывание фосфора кальцием. Фосфаты в почве встречаются в виде солей различной основности. По мере ее повышения растворимость фосфатов в воде все более и более уменьшается, а вместе с тем падает доступность фосфора для растений.

На кафедре агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в длительных стационарных опытах на

дерново-подзолистых легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почвах изучалось влияние применения удобрений на фосфатный режим почвы.

Установлено, что систематическое применение органических и минеральных удобрений приводит к возрастанию общего содержания фосфора как за счет минеральных, так и органических форм (табл. 5.8).

Таблица 5.8. Влияние длительного применения удобрений на формы фосфора в дерново-подзолистых почвах, мг/кг почвы (И. Р. Вильдфлуш)

Внесено на 1 га севооборота	$P_{вал}$	$P_{орган}$	P_2O_5 в 0,2 м HCl	$P_{мин}$ по Гинзбург-Лебедевой					Всего
				Ca-P I	Ca-P II	Al-P	Fe-P	Ca-P III	
<i>Легкосуглинистые почвы</i> (Ивановский стационарный опыт, Горецкий район, Могилевская область (картофель))									
Без удобрений	1200	572	80	34	18	80	134	120	386
$N_{50}P_{50}K_{75}$	1381	621	150	45	27	108	146	125	451
Навоз 6 т/га + $N_{25}P_{37}K_{47}$ (эквивалентно варианту 2)	1402	655	170	54	39	110	152	204	480
<i>Супесчаные почвы</i> (Щучинский стационарный опыт, Гродненская область (озимая рожь))									
Без удобрений	640	246	67	20	16	77	116	92	321
Навоз 10 т + $N_{35}P_{58}K_{58}$	810	294	185	51	34	110	124	102	422
$N_{68}P_{73}K_{91}$ (эквивалентно варианту 2)	820	280	191	40	30	127	133	107	457
Навоз 20 т + $N_{38}P_{58}K_{58}$	870	305	222	54	34	114	133	116	451
<i>Песчаные почвы</i> (Стационарный опыт колхоза «Припять», Пинский район, Брестская область)									
Без удобрений	560	180	152	38	36	85	46	27	232
$N_{60}P_{90}K_{60}$	693	185	224	48	50	200	73	36	407

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве через 22 года после закладки опыта при навозно-минеральной системе удобрения по сравнению с контролем накопление фосфатов в почве происходило примерно в равной степени за счет фосфатов полуторных оксидов и кальция. Причем в группе фосфатов кальция увеличение происходило в большей мере за счет его легкорастворимых форм, а в группе фосфатов полутораоксидов фосфаты алюминия среди накопленных преобладали над фосфатами железа (табл. 5.8). В то же время в варианте, где применялись только минеральные удобрения, на долю фосфатов полутораоксидов приходилось 60 %, а фосфатов кальция — 40 %. Таким образом, сочетание органических и минеральных удобрений способствует сохранению в почве фосфора в более доступной форме, чем при внесении одних минеральных удобрений.

В опыте Гродненской опытной станции на дерново-подзолистой супесчаной почве при применении в течение 13 лет $N_{30}P_{50}K_{50}$ на известкованном фоне при сильнокислой реакции (pH в KCl 4,0) среди накопленных фосфатов в почве по сравнению с контролем на долю фосфатов полутораоксидов приходилось 79 % (54 % — на фосфаты алюминия и 22 % — на фосфаты железа), а на известкованном фоне ($pH_{\text{сол}} 5,5$) на фосфаты полутораоксидов лишь 48 % и фосфаты кальция 52 %.

При сочетании $N_{30}P_{50}K_{50}$ с 10 т/га навоза на известкованном фоне (при pH в KCl 5,8) фосфорные удобрения в еще большей мере переходили в формы, связанные с кальцием (59 %).

На дерново-подзолистых песчаных почвах накопление фосфора в отличие от суглинистых и супесчаных происходило преимущественно за счет фосфатов алюминия.

Таким образом, применение органических удобрений и известкование способствуют сохранению фосфатов, вносимых с удобрениями в более доступной форме, и повышают их эффективность.

Уменьшение связывания фосфатов удобрений с алюминием и железом при применении органических удобрений связано с тем, что при их использовании оксиды алюминия и железа обволакиваются и упаковываются слоем органических коллоидов («гумусовой пленкой»). По мнению ряда исследователей, в зависимости от почвенных условий органическое вещество может выполнять роль конкурента фосфат-ионов за адсорбционные места на поверхнос-

ти твердой фазы почвы, препятствуя их поглощению. Кроме того, некоторые кислоты, образующиеся на различных стадиях разложения органического вещества, весьма энергично вытесняют из фосфатов алюминия, железа и кальция поглощенные фосфат-ионы, пополняя запасы подвижных фосфатов.

Одной из главных задач агрономии — создание рационального круговорота питательных элементов. Каждый биогенный элемент имеет свою специфику круговорота и баланса в системе почва—удобрение—растение. Фосфор не имеет естественных источников пополнения запасов в почве, как например азот. Однако нужно иметь в виду, что естественные запасы фосфора в почвах довольно значительны. В метровом слое различных почв содержится от 10 до 35 т/га соединений фосфора различной растворимости.

Вынос фосфора сельскохозяйственными культурами составляет 25–45 кг/га в год. Если сопоставить запасы фосфора в почвах и вынос с урожаем, то, что отчуждение фосфора составляет небольшую величину от его содержания в почве.

Специфика фосфора как элемента питания заключается в том, что большая часть его концентрируется в товарной части урожая — в зерне (около 2/3) и меньшая (примерно 1/3) в нетоварной части (солома) и отчуждается с хозяйства. В расходную часть внешне хозяйственного баланса фосфора наряду с продукцией растениеводства включается и продукция животноводства, которая содержит определенное количество фосфора. Круговорот фосфора в агроценозах более прост, чем азота. Потери фосфора кроме отчуждения с товарной продукцией могут быть также при эрозии почвы в составе твердого и жидкого стока в зависимости от степени эродированности (2–10 кг/га в год). Инфильтрация фосфора на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава обычно не превышает 1 кг/га в год, и только на легких почвах и торфяных почвах она достигает 3–5 кг/га.

Небольшое количество фосфора может поступать с семенами растений (1,3 кг/га), а также с атмосферными осадками (0,5 кг/га).

Поэтому компенсация расходных статей баланса фосфора в земледелии может быть достигнута только путем внесения соответствующего количества органических и минеральных удобрений.

В земледелии Беларуси были периоды, когда был положительный и отрицательный баланс фосфора. В годы, когда был

положительный баланс фосфора наблюдалось увеличение содержания подвижного фосфора в почвах республики и, наоборот, при отрицательном балансе этого элемента происходило его снижение. В последние годы происходило уменьшение применения фосфорных удобрений. Этого нельзя допускать, так как отрицательный баланс по фосфору приведет к снижению плодородия почв.

5.3.3. Сырье для производства, получение, состав, свойства и применение фосфорных удобрений

Сырьевой базой для получения фосфорных удобрений являются природные залежи фосфорных руд — апатиты и фосфориты. Апатиты являются основным источником фосфора магматического происхождения в земной коре. В зависимости от преобладания фтора или хлора различают фторапатит и хлорапатит.

Самое крупное месторождение апатитов находится в России в горных отрогах Хибинских гор Кольского полуострова. Хибинские апатиты залегают в виде апатитово-нефелиновой породы и их запасы составляют около 640 млн т P_2O_5 . Это лучшее в мире сырье для производства фосфорных удобрений. Залежи апатитовых руд имеются и в Бурятии (Ошурковское месторождение).

Фосфориты представляют собой осадочные породы главным образом мореного происхождения, состоящие из аморфных или кристаллических кальциевых фосфатов с примесью кварца, извести, глинистых частиц и других минералов. Большие залежи фосфоритов имеются в Эстонии, Украине, Казахстане. Залежи фосфоритов в Беларуси имеются в Могилевской и Брестской областях (30 млн т P_2O_5). Для производства фосфорных удобрений необходимо их обогащение до 20–22 % P_2O_5 .

Наиболее крупные залежи фосфоритов разведаны в США и Северной Африке. Запасы фосфоритов в США оцениваются в 10,5 млрд т, Марокко — 9 млрд т.

В Беларуси фосфорсодержащие удобрения производит Гомельский химический завод. Главным фосфорсодержащим удобрением является аммонизированный суперфосфат и аммофос. Ранее в Гомеле производились также простой, двойной суперфосфаты и аммофосфат.

Фосфорные и фосфорсодержащие комплексные удобрения по растворимости и усвояемости делятся на три группы: водорастворимые, цитратнорастворимые, труднорастворимые (рис. 5.5).

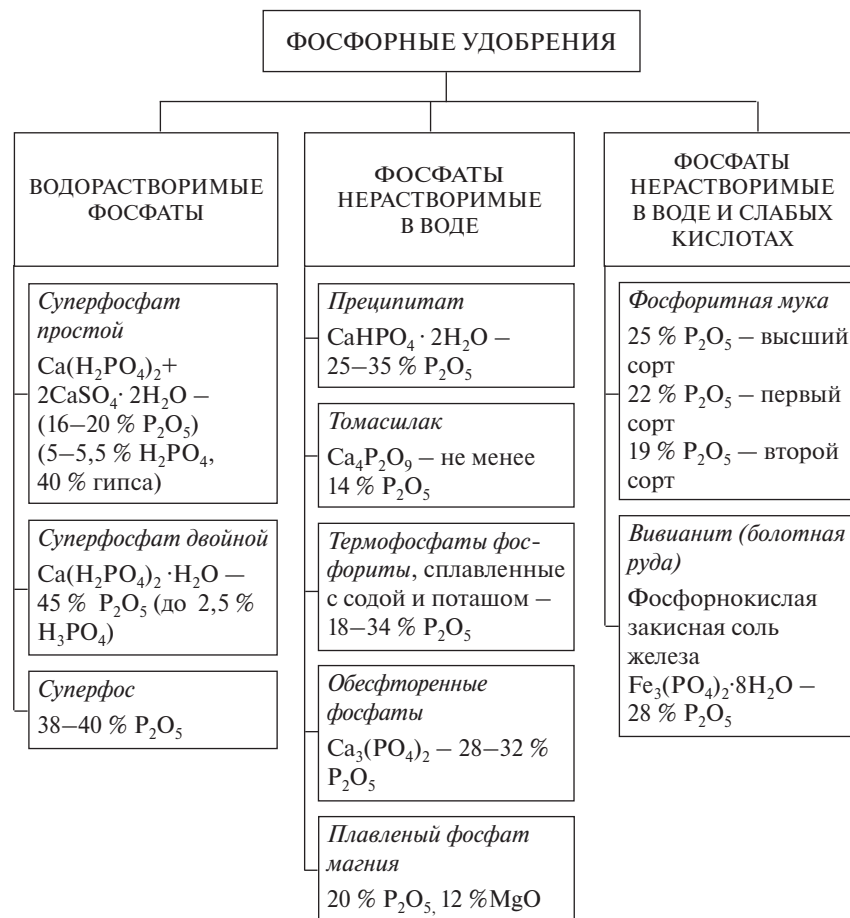


Рис. 5.5. Классификация фосфорных удобрений (В. Г. Минеев)

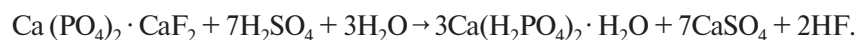
К водорастворимым относятся простой и двойной суперфосфат и комплексные удобрения (аммонизированный суперфосфат, аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, карбоаммофоска, кристаллин и др.), к нерастворимым в воде, но растворимым в слабых органических кислотах (цитратнорастворимым) — преципитат,

томасшлак, обесфторенный фосфат, мартеновский фосфатшлак и другие термофосфаты, к труднорастворимым — такие фосфорные удобрения, как фосфоритная и костная мука, из которых фосфор извлекается 20%-й соляной кислотой или смесью соляной и азотных кислот.

Иногда выделяют группу так называемых комбинированных фосфорных удобрений (суперфос и другие фосфориты, частично разложенные фосфорной кислотой).

Водорастворимые фосфорные удобрения. *Суперфосфат простой* ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) порошковидный содержит не менее 19 %, а гранулированный — не менее 20 % усвояемого фосфора в расчете на P_2O_5 . Свободная кислотность удобрения в расчете на P_2O_5 в простом суперфосфате не должна превышать 5,5 %. Это удобрение содержит до 50–55 % CaSO_4 . Наличие серы благоприятно сказывается на урожайности клевера, культур семейства капустных (капусты, брюквы, турнепса и др.), картофеля, озимой ржи, ячменя и др.

Суперфосфат простой получают обработкой размолотого апатита или фосфорита серной кислотой:



В результате образуется водорастворимый однозамещенный фосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и гипс CaSO_4 .

В качестве основного удобрения его можно использовать под все культуры. Невысокая концентрация фосфора в удобрении позволяет вносить его в рядки при посеве зерновых и других культур равномерно в минимальных дозах — 10–15 кг/га P_2O_5 . Гранулированный суперфосфат иногда выпускается с добавками бора, тогда он имеет голубой цвет.

Двойной суперфосфат ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) производят в гранулированном виде, содержание P_2O_5 в удобрении марок А и Б соответственно 49 и 43 %, свободная кислотность в расчете на P_2O_5 не должна превышать 2,5–5 %.

По классификации Международной ассоциации производства суперфосфата и сложных удобрений (ИСМА), двойным суперфосфатом считается удобрение, содержащее 25 % P_2O_5 , тройным — 43–49 % P_2O_5 . Поэтому в странах Западной Европы двойной суперфосфат называют тройным.

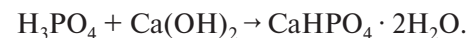
Технология производства двойного суперфосфата распадается на две стадии. Вначале получают фосфорную кислоту. Для этого апатит (фосфорит) обрабатывают серной кислотой для извлечения фосфорной кислоты. Затем, отделив фильтрованием H_3PO_4 от гипса, обрабатывают ею новую порцию фосфатного сырья и получают двойной суперфосфат:



Двойной суперфосфат в отличие от простого содержит меньше примесей и совсем не содержит серы. По внешнему виду он весьма схож с простым гранулированным суперфосфатом, но имеет более крупные гранулы, к тому же цвет их более темный (серый или темно-серый). Выпускается также двойной суперфосфат с добавками микроэлементов.

Применяют двойной суперфосфат как основное и рядковое удобрение. По действию на урожай большинства сельскохозяйственных культур простой и двойной суперфосфат, взятые в эквивалентной дозе по фосфору, дают близкий эффект. Лишь под культуры, положительно реагирующие на серу, двойной суперфосфат по эффективности уступает простому.

Не растворимые в воде, но растворимые в слабых органических кислотах (цитратнорастворимые) удобрения. *Преципитат* ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) содержит 27–38 % P_2O_5 . Порошок белого или светло-серого цвета. Получают преципитат нейтрализацией фосфорной кислоты известковым молоком или мелом:



Преципитат получают так же, как продукт отхода желатинового производства. В воде не растворяется, но растворим в лимонно-кислом аммонии и хорошо усваивается.

Это удобрение выпускается в ограниченных количествах. Применяют преципитат только для основного внесения, в этом случае он не уступает двойному суперфосфату. В Беларуси преципитат как удобрение практически не используется.

Фосфатшлак мартеновский ($\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 \cdot \text{CaSiO}_3$) — побочный продукт переработки в мартенах богатых фосфором чугунов. Тонкий, тяжелый, пылящий порошок черного цвета. Фосфатшлак марки ШФ-10 должен содержать не менее 10 % усвояемого фосфо-

ра, марки ШФ-7 — 7 % P_2O_5 , влаги — 1 %. Применяют в небольших количествах, в основном в районах, прилегающих к металлургическим заводам. Его можно использовать на всех типах почв только как основное удобрение.

Томашлак ($4CaO \cdot P_2O_5 + 4CaO \cdot P_2O_5 \cdot CaSiO_3$) по свойствам аналогичен мартеновскому шлаку. Он является побочным продуктом переработки богатых фосфором чугунов на сталь и железо по щелочному способу Томаса. Томашлак содержит 14 % усвояемого фосфора (P_2O_5). В мировом производстве фосфорных удобрений томашлак занимает значительное место, но в странах СНГ используется мало.

Обесфторенный фосфат содержит 20–36 % P_2O_5 . Получают его при гидротермической обработке 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 усвояемую форму. Это тонкий сыпучий порошок светло-серого или светло-желтого цвета с зеленоватым оттенком, имеющий легкий суперфосфатный запах. Обесфторенный фосфат можно применять как основное удобрение на всех почвах, но так же, как томашлак, его нельзя смешивать с аммонийными удобрениями. Обесфторенный фосфат используют, как и кормовой фосфат, для подкормки животных.

Труднорастворимые фосфорные удобрения. *Фосфоритная мука* — тонкий, тяжелый порошок темно-серого (землистого) цвета. Фосфоритную муку получают размолотом фосфорита. Она выпускается четырех марок: А, Б, В и С с содержанием соответственно не менее 29, 26, 23 и 20 % P_2O_5 при диаметре частиц не более 0,18 мм. Остаток на сите с отверстиями 0,18 мм не должен превышать 10 % массы фосфоритной муки.

Фосфор в этом удобрении находится в форме $Ca_3(PO_4)_2$.

Фосфоритная мука — медленнодействующее удобрение, которое используется только для основного внесения. Под влиянием почвенной кислотности она переходит в доступное для растений состояние. В России доля фосфоритной муки в ассортименте фосфорных удобрений составляет 12 %. В связи с интенсивным известкованием фосфоритная мука в Беларусь в последние годы не завозилась. В относительно больших количествах применяется в

Бразилии. В США ее используют в качестве добавки к смешанным удобрениям. В Японии и некоторых западноевропейских странах ее выпускают из импортируемого сырья. Это самое дешевое фосфорное удобрение. Его целесообразно применять на кислых почвах под культуры, способные использовать фосфор из труднорастворимых фосфатов (люпин, горох, гречиха, эспарцет, озимая рожь и овес).

Вивианит ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) — болотная руда, в чистом виде содержащая около 28 % P_2O_5 , а с примесью торфа (торфовивианит) — от 12 до 26 %. По действию приближается к фосфоритной муке. Вивианит залегает обычно в виде небольших гнезд и прослоек белесой массы. На воздухе быстро синееет. После добычи, длительного проветривания (для перевода закисных соединений в окисные) и подсыхания масса рассыпается на мелкий порошок, удобный для рассева. Его можно вносить из расчета 90–120 кг P_2O_5 на 1 га.

5.3.4. Новые и перспективные формы фосфорных удобрений

Суперфос, или *суперфосфатно-фосфоритное удобрение*, содержит 38–41 % P_2O_5 , в том числе 50–65 % в водорастворимой форме. Новая форма фосфорного удобрения, по внешнему виду похож на двойной суперфосфат, но с несколько меньшими гранулами (1–3 мм). Суперфосы — это фосфориты, частично разложенные экстракционной фосфорной кислотой. На производство суперфоса расходуется на 25–30 % меньше экстракционной фосфорной кислоты по сравнению с двойным суперфосфатом.

Суперфос используется для основного и припосевного удобрения. По действию на большинство сельскохозяйственных культур он приближается к двойному суперфосфату. Основное внесение этого удобрения эффективно под картофель, ячмень, лен, овес, гречиху и другие культуры. Суперфос производится в России.

Полифосфат кальция — перспективное удобрение, содержащее 40–60 % P_2O_5 . В зависимости от температур, при которых получают полифосфаты кальция, они подразделяются на плавленные и низкотемпературные.

В последнее время большое внимание уделяется кислотно-термическому способу получения полифосфатов кальция. Плавление

фосфорита проводится при температуре 1100–1200 °С после взаимодействия его с фосфорной кислотой. Удобрение содержит 55–58 % цитратно-растворимой P_2O_5 . Добавление к продукту на стадии грануляции водорастворимых ортофосфатов обеспечивает необходимое содержание водорастворимого фосфора в удобрении.

Разработан также низкотемпературный способ получения полифосфатов кальция с достаточно высоким содержанием P_2O_5 (40–60 %).

Конденсированные фосфаты, входящие в состав полифосфата кальция, в почве гидролизуются до ортофосфатов и таким образом становятся доступными для растений. Полифосфат более эффективен на карбонатных почвах, где он по действию превосходит суперфосфат. По данным кафедры агрохимии БГСХА, эффективность действия полифосфата кальция под ячмень на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах составляло 70 % от двойного суперфосфата. Полифосфат кальция планируется производить в Казахстане на базе фосфоритов Каратау.

Красный фосфор — самое концентрированное и перспективное фосфорное удобрение, содержащее 229 % P_2O_5 . Красный фосфор применяют с добавками сернокислой меди $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (в качестве катализатора) из расчета 1 % меди от массы фосфора. Красный фосфор может быть использован для повышения содержания фосфора в других удобрениях. Так, добавка 20 % красного фосфора к простому суперфосфату из фосфоритов Каратау превращает его в высококонцентрированное удобрение, содержащее 48–50 % P_2O_5 , хорошо действующее как в первый, так и следующие три–четыре года после внесения.

5.3.5. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой

Дерново-подзолистые почвы отличаются большой емкостью поглощения фосфат-ионов: от 800 мг/кг P_2O_5 (песчаные) до 3000 мг/кг (глинистые почвы). Еще большей емкостью поглощения обладают торфяные почвы низинного типа — 13500–31000 мг/кг почвы.

В связи с тем, что фосфор представлен в почве труднорастворимыми соединениями, а внесенные с удобрениями фосфаты прочно фиксируются твердой фракцией почвы, сложилось представление

о незначительной подвижности фосфора в почвенных условиях. Многочисленные исследования показывают, что за год вымывание фосфатов из пахотного горизонта в нижележащие слои в различных почвах составляет от 0,2 кг до нескольких килограммов.

Однако имеются сведения, что фосфор все же движется в почвах. В миграции фосфора по профилю почвы играет роль механическое воздействие на почву: перепашка, смыв, перемещение частиц, а также рост корневой системы. В дерново-подзолистых почвах происходит миграция фосфатов, связанных с сульфатными соединениями. Немаловажную роль в миграции фосфора могут играть и минеральные комплексные соединения.

О том, что фосфор медленно, но движется в почве, свидетельствуют данные Ротамстедской опытной станции. Здесь фосфорные удобрения вносились в течение 130 лет, и миграция фосфора отмечена по профилю почвы до глубины 40–50 см.

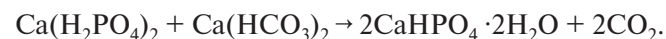
Поглощение фосфатов удобрений регулируется двумя параллельно идущими процессами — сорбцией и химическим осаждением. Соотношения этих процессов зависят от реакции почвенного раствора, содержания гумуса, степени диспергированности и реакционной способности почвенных глинистых минералов, доз удобрений и времени их взаимодействия с почвами.

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

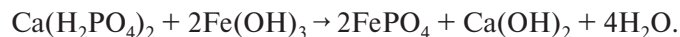
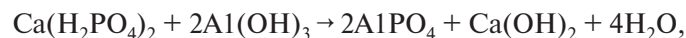
Около 4–10 % всего фосфора в почвах связано адсорбционно. Путем ионного обмена фосфат-ионы могут переходить в почвенный раствор и поэтому составляют часть доступного запаса фосфора почвы. Поглощение фосфат-ионов возможно вследствие того, что корни растений при дыхании выделяют углекислый газ, который образует угольную кислоту, распадающуюся на H^+ и HCO_3^- . Анион HCO_3^- обменивается на поверхности с коллоидом на $H_2PO_4^-$.

В труднорастворимые формы растворимые фосфаты удобрений превращаются в результате химического осаждения фосфатов из раствора.

Превращение водорастворимых фосфорных удобрений в нейтральных почвах происходит следующим образом:



На кислых почвах, кроме того, образуются труднодоступные растениям фосфаты железа и алюминия:



Превращение фосфоритной муки, в отличие от превращения водорастворимых форм фосфорных удобрений, состоит в ее растворении под действием кислотности почвы кислотами, выделяемыми микроорганизмами и растениями, а также в поглощении фосфатов почвой. В дальнейшем процесс поглощения фосфоритной муки и других водонерастворимых форм фосфорных удобрений аналогичен поглощению почвой растворимых фосфорных удобрений.

Сочетание органических и минеральных удобрений способствует сохранению фосфора в почве в более доступной форме, чем при внесении одних минеральных удобрений. Это связано, по-видимому, с внесением с органическими удобрениями оснований и нейтрализацией почвенной кислотности, а также более интенсивным образованием на минеральных компонентах почвы пленок органических и органо-минеральных гелей, что уменьшает переход фосфатов в труднорастворимые формы.

Способствует сохранению вносимых фосфатов удобрений в форме более доступных фосфатов кальция и до некоторой степени препятствует переходу в фосфаты железа и алюминия и известкованию почвы. Известкование существенно не влияет на содержание подвижных фосфатов в почве, но повышает степень их подвижности и доступность вследствие снижения кислотности, содержания обменного алюминия и общего улучшения условий роста. Имеются также данные о том, что при известковании в первый год усиливается минерализация органических фосфатов в связи с повышением рН с образованием соответствующих соединений, в том числе доступных растениям фосфатов кальция. Таким образом, известкование оказывает положительное влияние на фосфатный режим почвы и способствует сохранению вносимых фосфатов удобрений в более доступной форме.

5.3.6. Приемы рационального использования фосфорных удобрений

Оптимальное фосфорное питание способствует развитию корневой системы растений, благодаря чему улучшается снабжение растений влагой и элементами питания. Фосфор способствует более экономному расходованию влаги, повышает устойчивость растений к засухам, низким температурам, улучшает перезимовку озимых культур, ускоряет созревание растений, увеличивает урожай и улучшает его качество.

Фосфор также стимулирует процессы оплодотворения, формирования плодов, вызревания вегетативных органов. Он является преимущественно элементом качества, существенно дополняя роль азота, который в большей степени влияет на размер урожая.

В отличие от стран Западной Европы, где достигнут оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в почве и фосфорные удобрения вносятся только для компенсации его выноса с урожаями, в Беларуси необходимо на почвах, недостаточно окультуренных, вносить фосфорные удобрения не только для компенсации выноса, но и для увеличения его содержания в почве.

В настоящее время ощущается дефицит фосфорных удобрений, поэтому концепция их применения пересматривается в сторону снижения доз. Дозы рассчитываются исходя из более умеренных темпов увеличения содержания подвижного фосфора на недостаточно окультуренных почвах, чем это было раньше. В связи с аварией на Чернобыльской АЭС и радиоактивным загрязнением почв в ряде районов Беларуси дозы фосфорных удобрений дифференцируются в зависимости от плотности загрязнения почв.

Дозы фосфорных удобрений определяют с учетом уровня планируемой урожайности, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, типа, гранулометрического состава и агрохимических свойств почвы, предшественников, сопутствующих удобрений. При допосевном внесении дозы фосфора колеблются от 30 до 90 кг/га д. в.; более высокие применяют под плодовые, овощные и технические культуры, средние — под картофель, кукурузу и кормовые культуры.

Урожайность зерновых культур от средних доз фосфорных удобрений возрастает на 2,5–4,0 ц/га, окупаемость 1 кг P_2O_5 составляет 4–6 кг зерна.

В условиях дефицита фосфорных удобрений внесение основных доз (30–40 кг/га д. в.) следует проводить только на пахотных землях с недостаточным содержанием P_2O_5 (менее 150 мг/кг почвы). На почвах с повышенным содержанием фосфора (150–250 мг/кг почвы) необходимо применять рядковое внесение фосфора под наиболее ценные культуры (озимую и яровую пшеницу, зернобобовые, рапс, лен, сахарную свеклу). На почвах с содержанием фосфора 250 мг/кг и более фосфорные удобрения можно временно (несколько лет) не применять. Такой подход позволит получить наиболее высокую окупаемость дорогих туков и не приведет к снижению достигнутого уровня содержания подвижного фосфора в почвах.

Хороший эффект дает внесение небольших доз фосфора во время сева. При посеве могут вноситься простой и аммонизированный, двойной суперфосфаты, аммофос, аммофосфат. Простой гранулированный суперфосфат вносится под зерновые культуры в дозе 10 кг/га P_2O_5 , а более концентрированные удобрения — 15–20 кг/га. Урожайность зерновых при рядковом внесении фосфора повышается на 2,5 ц/га, а оплата 1 кг фосфора урожаем примерно втрое выше, чем при основном разбросном внесении.

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.

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.

В год внесения из органических удобрений используется 25–30 % фосфора, из минеральных при основном внесении — лишь 15–20 %, за ротацию севооборота из органических — 40–50, из минеральных — 30–40 %.

Важным приемом повышения эффективности фосфорных удобрений является допосевное ленточное внесение. Как показали исследования кафедры агрохимии БГСХА, наиболее высокую прибавку дает ленточное внесение фосфора вместе с азотом, а еще лучше — всех трех главных элементов питания. При ленточном

внесении фосфорных удобрений коэффициенты использования фосфора растениями увеличиваются на 7–10 % по сравнению с разбросным. При локальном внесении основного удобрения дозы минеральных удобрений можно снижать на 30 %.

Внесение фосфорных удобрений в запас, на два-три года, является экономичным приемом, но его можно применять лишь на почвах, где не выражена фиксация фосфора в труднорастворимых для растений формах. Прежде всего, в запас эффективно внесение фосфорных удобрений под многолетние травы, высеваемые под покров, под плодовые и ягодные культуры. Однако этот способ целесообразно использовать только при наличии достаточного количества удобрений.

Подкормки фосфорными удобрениями применяются для многолетних трав, а также при междурядной обработке пропашных культур, но лишь если они по какой-либо причине не были внесены в основное удобрение.

Важно правильно выбрать форму удобрений исходя из почвенных условий и возделываемой культуры. На почвах, слабокислых или близких к нейтральным, с низким содержанием подвижного фосфора предпочтительнее легкорастворимые фосфорные удобрения. На почвах, достаточно обеспеченных подвижным фосфором, а также при выращивании культур, интенсивно его использующих из труднорастворимых соединений, формы удобрений не имеют большого значения.

Изучение кафедрой агрохимии БГСХА эффективности нового фосфорсодержащего удобрения — аммофосфата — показало, что его эффективность под основные сельскохозяйственные культуры находится на уровне двойного суперфосфата и аммофоса. В то же время на супесчаных почвах, по данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, аммофосфат более эффективен в годы с благоприятным водным режимом, в засушливые годы действие его было ниже, чем двойного суперфосфата: под картофель и ячмень — 76 %, под озимую рожь — 66 % от действия двойного суперфосфата.

Применение фосфорных удобрений влияет не только на урожайность, но и на качество продукции. Фосфорная кислота принимает активное участие в биосинтезе сахарозы, ферментативных превращениях форм углеводов, передвижении углеводов, влияет

на их отток в клубни картофеля, корнеплоды сахарной свеклы и т. д. В связи с этим фосфорные удобрения положительно влияют на накопление в растениях крахмала, сахаров, других углеводов, улучшают качество льна и конопли. Фосфор также благоприятствует накоплению в плодах красящих и ароматических веществ, улучшает их лежкость.

Достаточное фосфорное питание ускоряет образование растениями продуктивных органов. В частности, регулируя фосфорное питание, можно существенно изменять в сторону увеличения количество зерна за счет соломы.

При недостатке фосфора в растениях больше накапливается нитратов, что связано с важным значением фосфатных соединений типа НАД и НАДФ в восстановлении нитратов. Внесение фосфорных удобрений снижает уровень нитратов. С другой стороны, и избыток фосфора оказывает неблагоприятное действие на растения. В этом случае много фосфатов находится в растениях в минеральной форме, особенно в вегетативных органах. В случае избыточного поступления фосфора растения преждевременно созревают и не успевают синтезировать хороший урожай. Характерной особенностью нарушения питания растений при завышенных дозах фосфора на дерново-подзолистых почвах является нарушение баланса магния и хлора.

При избытке фосфора ухудшается питание цинком, что приводит к заболеванию плодовых культур розеточностью. При внесении высоких доз фосфорных удобрений увеличивается потребность применения цинковых удобрений.

Усвоение фосфора растениями, эффективность фосфорных удобрений и остаточных фосфатов в почве возрастают при достаточной обеспеченности почвы другими элементами питания, в том числе микроэлементами. В свою очередь, оптимальное содержание в почве фосфора повышает эффективность других видов удобрений.

Фосфор участвует в синтезе и распаде сахарозы, крахмала, белков, жиров и многих других соединений.

Под влиянием фосфорных удобрений возрастает интенсивность синтеза сахарозы, крахмала, жиров, несколько меньше белков. Фосфорные удобрения чаще положительно влияют на содержание крахмала в клубнях картофеля. В опытах Ю. И. Касицкого и Л. П. Детковский при внесении 60–90 кг/га фосфорных удобрений

на азотно-калийном фоне содержание крахмала в клубнях возрастало на 0,2–0,8 %. Кроме того, фосфор положительно влияет на вкус, сроки созревания и плотности кожуры клубней. Благодаря ему увеличивается способность к заживлению повреждений к механизированной уборке.

Содержание сахаров определяет техническую ценность сахарной свеклы и питательная ценность многих овощных культур. По обобщенным данным, при оптимальных дозах фосфорные удобрения повышают сахаристость корнеплодов сахарной свеклы на 0,6–1,3 %.

Фосфорные удобрения оказывают положительное влияние на повышение сырого жира в семенах масличных культур. При их применении содержание сырого жира в семенах может возрасти на 2–4 %.

Таким образом, для получения высокого урожая хорошего качества необходимо сбалансированное минеральное питание растений.

5.4. Калийные удобрения

5.4.1. Роль калия в жизни растений, баланс и круговорот его в земледелии

Калий как химический элемент был открыт Г. Дэви в 1807 г., а в 1809 г. В Гильберт предложил название «калий» (от арабского аль-кали-поташ).

Физиологическая роль калия для растений заключается в том, что он обеспечивает течение такого важного процесса, как фотосинтез, активизирует деятельность многих ферментов, участвует в углеводном и азотном обменах. При недостатке калия тормозится синтез белка, в результате чего нарушается весь азотный обмен в растениях. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом. Основные функции калия в растениях представлены на рис. 5.6.

Калий находится почти во всех органах и тканях растений, но чаще всего в неодинаковых количествах. Так, в соломе зерновых культур его содержится гораздо больше, чем в зерне. В ботве картофеля значительно больше, чем в клубнях. Особенно много калия

содержат молодые растения, в которых энергично делятся клетки. Наибольшее накопление калия в растениях в большинстве случаев совпадает с периодом цветения. В зерне содержание калия составляет 0,6–0,7 %, в соломе — 1,2–1,8, в клубнях картофеля, корнеплодах — 0,3–0,6 % на сырую массу.



Рис. 5.6. Основные функции калия в жизни растений (В. Г. Минеев)

Физиологическая роль калия в жизни растений проявляется прежде всего в поддержании благоприятных (для жизни клетки) физико-химических свойств протоплазмы — ее оводненность, вязкость, набухаемость, эластичность и др., что имеет большое значение для нормального обмена веществ.

Способность калия увеличивать гидрофильность (оводненность) растительных клеток, поддерживать тургор объясняет его большое значение в повышении зимостойкости и засухоустойчи-

вости растений. Хорошее калийное питание предотвращает развитие грибных заболеваний. У зерновых культур повышается устойчивость к поражению мучнистой росой и ржавчиной, у овощных, картофеля и корнеплодов — к гнилям, увеличивается срок хранения растениеводческой продукции.

Недостаток калия тормозит развитие растений, приводит к значительному снижению урожая и ухудшению его качества. Явные внешние признаки калийного голодания проявляются у растений при снижении содержания в них калия в 3–5 раз по сравнению с нормальным. Один из наиболее специфических признаков — краевой «запал». При этом края и кончики листьев, прежде всего нижних, буреют, приобретают «обожженный» вид, на пластинках появляются мелкие ржавые пятна.

Под влиянием калия отмечается активизация процесса фиксации азота бобовыми культурами, поскольку он положительно влияет как на рост корней, корневых волосков, на развитие клубеньковых бактерий в ризосфере, так и на количество и массу клубеньков и их азотфиксирующую способность.

Молодые органы растений содержат в 3–5 раз больше калия, чем старые: его больше в тех органах и тканях, где интенсивно идут процессы обмена вещества и деления клеток. Много калия в пыльце растений. Поэтому калий иногда называют элементом молодости. Легкая подвижность калия в растениях обуславливает его ретутилизацию путем перемещения из старых листьев в молодые.

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 — 6,91 %. ^{40}K излучает бета- и гама-лучи. Считают, что оба вида излучений создают дополнительную внутриклеточную энергию (излучение полезно для растений).

Следует отметить, что радиационный фон земли в немалой степени обусловлен ^{40}K . Радиоактивный изотоп калия является важным глубинным источником тепла нашей планеты.

Более интенсивное поглощение калия свойственно молодым растениям. Установлено, что яровая пшеница в фазе кущения потребляет 25,4 % калия, в фазе выхода в трубку — 42,1 и колошения — 100 %. В корнеплодах калий в наибольшем количестве накапливается в июле — августе. Однако поступление его идет до момента уборки.

При недостатке калия в питательной среде происходит отток его из более старых органов в молодые, где он используется повторно (реутилизируется).

Для предотвращения избыточного накопления нитратов растения должны быть обеспечены калием, так как при его недостатке тормозится синтез белков и углеводов и накапливается небелковый азот (нитраты).

В отличие от азота и фосфора калий не входит в состав органических соединений — содержится почти целиком в минеральной ионной форме в виде растворимых солей клеточного сока и лишь частично образует прочные адсорбционные комплексы. Он содержится в цитоплазме и вакуолях, а в ядре отсутствует. Около 20 % калия удерживается в клетках в обменно-поглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы, до 1 % необменно поглощается митохондриями, а примерно 80 % находится в клеточном соке и легко извлекается водой. Поэтому калий вымывается из растений дождями, особенно из старых.

Исследования, проведенные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии», показали, что потребление азота и фосфора ячменем непрерывно возрастает от фазы кущения до полной спелости. В то же время увеличение потребления калия наблюдается до фазы колошения, когда оно достигает максимума, а к фазе полной спелости снижается в два раза. В результате частичного растительного опада, вымывания дождями вынос калия урожаями различных сельскохозяйственных культур убывает на 20–50 % по сравнению с периодом их интенсивного развития. Так, после сильных дождей растения сахарной свеклы теряют до 50 % калия. Особенно сильно теряется калий из листьев в ночное время. На свету калий более прочно удерживается цитоплазмой.

Повышая активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, в частности сахарозы и амилазы, калий усиливает отток сахаров из листьев в другие органы. Этим объясняется положительное действие калийных удобрений на накопление крахмала в клубнях картофеля, сахара — в сахарной свекле и других корнеплодах, плодах и овощах. Недостаток калия может снизить содержание крахмала в клубнях на 5–6 %. Калий усиливает также синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы), а также пектиновых веществ. Это приводит к утолщению клеточных

стенок соломины зерновых, что повышает устойчивость хлебов к полеганию.

Оптимальное калийное питание способствует усиленному образованию лубяных волокон у льна, что способствует большому выходу волокна.

Имеются данные о положительном влиянии калия на вкусовые качества плодов. Калий способствует образованию богатой энергией АТФ, которая участвует в процессах фотосинтетического и окислительного фосфорилирования.

Калий необходим также животным и человеку. Человек должен ежедневно получать 2,5–5 г калия. Соли калия необходимы для нормальной работы сердца и других органов, способствуют выведению избыточной жидкости из организма. При заболеваниях сердца назначают препараты, содержащие калий. Много калия в изюме, картофеле (жареном, печеном), бананах.

Корма считаются оптимальными по содержанию калия при содержании 0,7–1 % (в расчете на сухое вещество).

Круговорот и баланс калия в земледелии. Калий — один из основных биогенных элементов. Его круговорот в биоценозе весьма интенсивен. В агроценозах круговорот и баланс калия зависят в основном от хозяйственной деятельности землепользователей: обеспеченности удобрениями, специализации хозяйства и др. Круговорот калия в земледелии более благоприятен, чем азота и фосфора. Валовые запасы калия в почве во много раз (в 5–52) выше, чем азота и фосфора.

Основной расходной статьей баланса калия является его вынос с урожаями сельскохозяйственных культур. С урожаями различных растений выносятся от 60 до 310 кг/га. Эти показатели рассчитаны для средних урожаев (в частности, зерновых культур). С повышением продуктивности сельскохозяйственных культур вынос калия, естественно, возрастает.

Необходимо также учитывать распределение выноса калия между товарной и нетоварной частями продукции. Например, в зерне пшеницы содержится только 15 % калия от общего (хозяйственного) выноса, а в соломе остальные 85 %. Чем меньше калия в товарной, отчуждаемой из хозяйственной части урожая и больше в нетоварной, остающейся в поле или в хозяйстве, а также в кормах (сено, кормовые корнеплоды и т. д.), используемых в данном

хозяйстве, тем в меньшей мере калий исключается из внутрихозяйственного круговорота и тем лучше складывается баланс этого элемента в земледелии данного хозяйства.

Поскольку в отличие от азота и фосфора, основная часть калия содержится в нетоварной части урожая — листьях, стеблях, соломе используемых на корм и подстилку, он почти весь с навозом возвращается в почву. Однако возделываемые культуры выносят значительно больше калия, чем фосфора, а иногда и азота. Калий может теряться также при вымывании и эрозии и за счет внесения одних органических удобрений невозможно компенсировать расходную статью в балансе калия в земледелии.

Специализация хозяйства (животноводческого или зернового направления и т. д.) вносят существенные коррективы во внутрихозяйственный баланс калия. Часть калия теряется из корнеобитаемого за счет инфильтрации: на легких почвах около 5 %, на тяжелых — около 2 % от количества внесенных калийных удобрений.

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава может на 1 га вымываться от 4 до 33 кг калия, на торфяных до 10 кг.

Часть калия почвы теряется в результате водной и ветровой эрозии. При эрозии в зависимости от степени эродированности теряется от 3 до 15 кг калия в расчете на 1 га.

Наибольшее количество калия поступает в почву с семенами (до 2 кг на 1 га) и атмосферными осадками (7,0–10,3 кг/га).

Следует учитывать, что некоторая часть обменного калия может переходить в почву в фиксированное (необменно-поглощенное) состояние и тем самым изыматься из доступного для растений фонда калия. В то же время установлено, что в снабжении растений калием принимают участие не только пахотные, но и подпахотные горизонты.

Таким образом, калий поступающий с семенами и атмосферными осадками, органическими удобрениями не может компенсировать вынос его с урожаем сельскохозяйственных культур, потери от вымывания, эрозии почв и для получения высоких урожаев, повышения плодородия почвы необходимо применение минеральных калийных удобрений. Наиболее эффективно приме-

нение калийных удобрений на песчаных, супесчаных, торфяных почвах, содержащих мало калия и под наиболее требовательные к этому элементу культуры. В Республике Беларусь на протяжении длительного времени потребность в калийных удобрениях в основном удовлетворялась, что способствовало увеличению содержания подвижного калия в пахотных почвах в среднем до повышенного уровня (205 мг/кг).

5.4.2. Содержание и формы соединений калия в почве

Общие запасы калия в почве весьма велики по сравнению с азотом и фосфором. В различных почвах валовые запасы калия в 5–50 раз выше, чем азота и фосфора. Содержание валового калия в дерново-подзолистых почвах составляет от 0,5 до 4 % и определяется их гранулометрическим составом. Чем больше в почве находится глинистых частиц, тем больше в ней калия. В тяжелых глинистых почвах содержание калия достигает 3–4 %, суглинистых — 2–2,5, на бедных песчаных почвах оно снижается до 0,7–1,0 %.

По степени подвижности и доступности для растений содержащиеся в почве соединения калия подразделяются на следующие формы.

1. *Калий почвенного раствора* или *водорастворимый* представлен различными солями: соляной, угольной, серной, азотной, фосфорной и других кислот (хлориды, карбонаты, сульфаты, нитраты, фосфаты и т. д.).

Содержание этой фракции калия составляет 1/5–1/10 от количества калия находящегося в обменной форме. Водорастворимый калий находится в пределах от 1,5 до 7 мг/кг почвы или 4,5–21,0 кг/га. Этот калий наиболее доступен для питания растений. Он появляется в почве главным образом вследствие химического и биологического воздействия на почвенные минералы, а также их гидролиза. Минералы могут разрушаться под воздействием корневых выделений, кислых продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, в том числе азотной кислоты образующейся в процессе нитрификации. Часть калия может переходить из обменного состояния в раствор в результате вытеснения его из поглощающего комплекса различными солями, в том числе и вносимыми в почву удобрениями.

2. *Калий поглощенный* или обменный, калий почвенных коллоидов, входящий в состав катионов почвенного поглощающего комплекса. Легкая доступность обменного калия обусловлена способностью его переходить в почвенный раствор. Эта форма калия главный источник калия для растений.

Определяется подвижный калий в почве по методу Кирсанова в вытяжке 0,2 м НСl, или обменный по методу Масловой в вытяжке 1 м $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.

Градации почв Республики Беларусь по содержанию подвижного калия приведена в таблице 5.8.

Таблица 5.8. Градации почв Республики Беларусь по содержанию подвижного калия (по Кирсанову)

Группа по содержанию K_2O	Содержание K_2O , мг/кг почвы	
	минеральной	торфяной
I (очень низкое)	Менее 80	Менее 200
II (низкое)	81–140	201–400
III (среднее)	141–200	401–600
IV (повышенное)	201–300	601–1000
V (высокое)	301–400	1001–1300
VI (очень высокое, избыточное)	Более 400	Более 1300

3. *Калий необменный*, или фиксированный, не экстрагируется из почвы растворами нейтральных солей и слабых кислот. Он включает в себя природный фиксированный и искусственно фиксированный калий.

Природный фиксированный калий — это калий кристаллической решетки. Он удерживается в решетке глинистых минералов силами, обуславливающими соединение отрицательно заряженных алюмосиликатных пакетов в целостную структуру. Искусственно фиксированный калий — это калий, внедрившийся в межпакетные пространства кристаллической решетки, когда она была в растянутом состоянии, при применении удобрений из солевых растворов. Искусственно фиксированный калий растениями используется лучше, чем природный фиксированный.

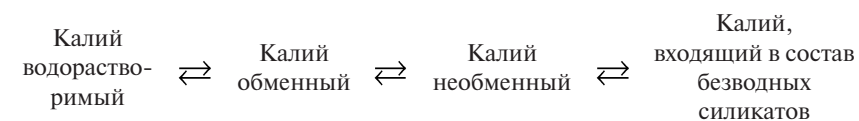
4. *Калий, входящий в состав безводных силикатов*, находящихся в составе минералов (алюмосиликатов, полевых шпатов и слюд). Этот калий находится в труднорастворимом состоянии.

Больше всего этой формы калия в ортоклазе, меньше — в мусковите, биотите, глауконите, нефелине и лейците. Из почвы были выделены силикатные бактерии, способные разлагать ортоклаз. Некоторые ученые считают, что они играют положительную роль в питании растений. Более доступен растениям калий мусковита, биотита, нефелина. Часть его переходит в усвояемое состояние в результате обменного разложения с солями почвенного раствора. Некоторое количество калия этих минералов может переходить в доступное состояние в результате действия на них углекислоты и некоторых органических кислот, выделяемых корнями растений.

В зависимости от типа почвы переход калия из необменных форм в обменные протекает с различной интенсивностью, на дерново-подзолистых почвах эти величины составляют ежегодно 15–30 кг/га.

5. Калий, входящий в состав плазмы микроорганизмов. Небольшое количество калия также входит в состав плазмы микроорганизмов (даже в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах его содержание не превышает 25–40 кг/га и в связи с этим эта форма калия практического значения в питании растений не имеет). Кроме того, калий содержится также в растительных, животных, корневых остатках, в навозе и других органических веществах попадающих в почву, которые в процессе минерализации становятся доступными для растений.

Формы калия могут переходить друг в друга. Эти процессы можно выразить следующим образом:



Растения хорошо усваивают не только водорастворимый и обменный калий, но частично и необменный (на тяжелых почвах в большей степени, чем на легких). Запасы подвижного калия пополняются в результате выветривания минералов. С другой стороны, обменный калий в почве может переходить в необменное состояние. Существенным фактором снижения доступности внесенного калийного удобрения сельскохозяйственным культурам следует считать его необменную фиксацию, которая связана с вхождением

ем ионов калия в межпакетное пространство кристаллов вместе с раствором при набухании минералов. Количество фиксированного калия может достигать в почвах легкого гранулометрического состава 200 кг/га, а в тяжелых — 500 кг/га.

На фиксацию калия почвами сильное влияние оказывает реакция среды (рН): подкисление ослабляет фиксацию, повышает подвижность калия в почве и доступность его растениям. Систематическое внесение калийных удобрений в дерново-подзолистые почвы, как показали многочисленные исследования, обогащает их подвижным калием лучше, чем черноземные, в которых калий накапливается преимущественно в необменной форме.

Кафедрой агрохимии УО БГСХА в течение двух ротаций пятипольного севооборота на трех смоделированных уровнях по величине рН, содержанию подвижных форм фосфора и калия (низком, среднем и высоком) изучалось влияние удобрений на продуктивность севооборота и изменение агрохимических свойств в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Исследования показали, что длительное применение калийных удобрений способствовало увеличению содержания в почве калия за счет обменных и необменных форм. Однако в большей мере в почве накапливался обменный калий.

Таким образом, вносимые калийные удобрения в дерново-подзолистых почвах сохраняются в основном в доступной для растений форме.

Важное условие эффективного применения калийных удобрений — хорошее обеспечение растений азотом и фосфором.

Средние прибавки урожая от калийных удобрений в неблагоприятные годы значительно выше. В частности, установлено, что пасмурная, прохладная и влажная погода ослабляет усвоение калия из почвенных запасов и делает более актуальным внесение удобрений.

Сбалансированное калийное питание способствует получению продукции высокого качества, более экономному расходованию влаги и таких элементов, как азот и фосфор на формирование единицы товарного урожая.

Систематическое применение органических и минеральных удобрений в дозах, обеспечивающих положительный баланс гумуса, фосфора, калия и других элементов, в сочетании с известкованием

дерново-подзолистых почв обеспечивает расширенное воспроизводство их плодородия. Это приводит к увеличению содержания гумуса, подвижных форм фосфора, калия, оптимизации реакции почвы, улучшению агрофизических свойств почвы, оказывает положительное влияние на биологическую активность почвы.

5.4.3. Месторождения калийных солей, способы получения, ассортимент, состав и свойства калийных удобрений

Мировые запасы калия огромны. Мировой океан обладает огромными запасами калийных солей ($7 \cdot 10^{14}$ т). Калий широко распространен в природе в форме многочисленных руд, минералов и рассолов. Самыми ценными считаются водорастворимые калий содержащие минералы.

Сырьем для производства калийных солей являются природные калийные соли. Крупнейшими месторождениями хлористых калийных солей на территории стран СНГ являются Верхнедвинское, расположенное в России около городов Соликамск и Березники (более 12 млрд т) и Белорусское (1 млрд 247 млн т), Петриковское (1,2 млрд т). Прикарпатское месторождение (Западная Украина) представлено преимущественно сернокислыми солями (шенит, лангбейнит и каинит). Осваиваются Тюбегатанское и Карлюкское месторождения в Таджикистане. Имеется сырье для производства калийных удобрений в ФРГ, Франции, США, Канаде, Израиле, Италии и других странах.

Основной формой калийных удобрений в республике является хлористый калий. Ассортимент калийных удобрений планируется расширить за счет производства комплексных удобрений, в состав которых входит калий.

Производимые калийные удобрения по химическому составу подразделяют на хлоридные (хлористый калий и смешанные соли) и сульфатные (сульфат калия, калимагнезия и калимаг). В зависимости от содержания калия и технологии производства калийные удобрения подразделяются на концентрированные, представленные хлоридными и сульфатными формами, и размолотые природные соли (сильвинит и каинит). Кроме того, в качестве калийсодержащих удобрений могут использоваться отходы промышленности — цементная пыль и древесная зола.

Калийные удобрения можно подразделить на сырые калийные соли и концентрированные удобрения (рис. 5.7).

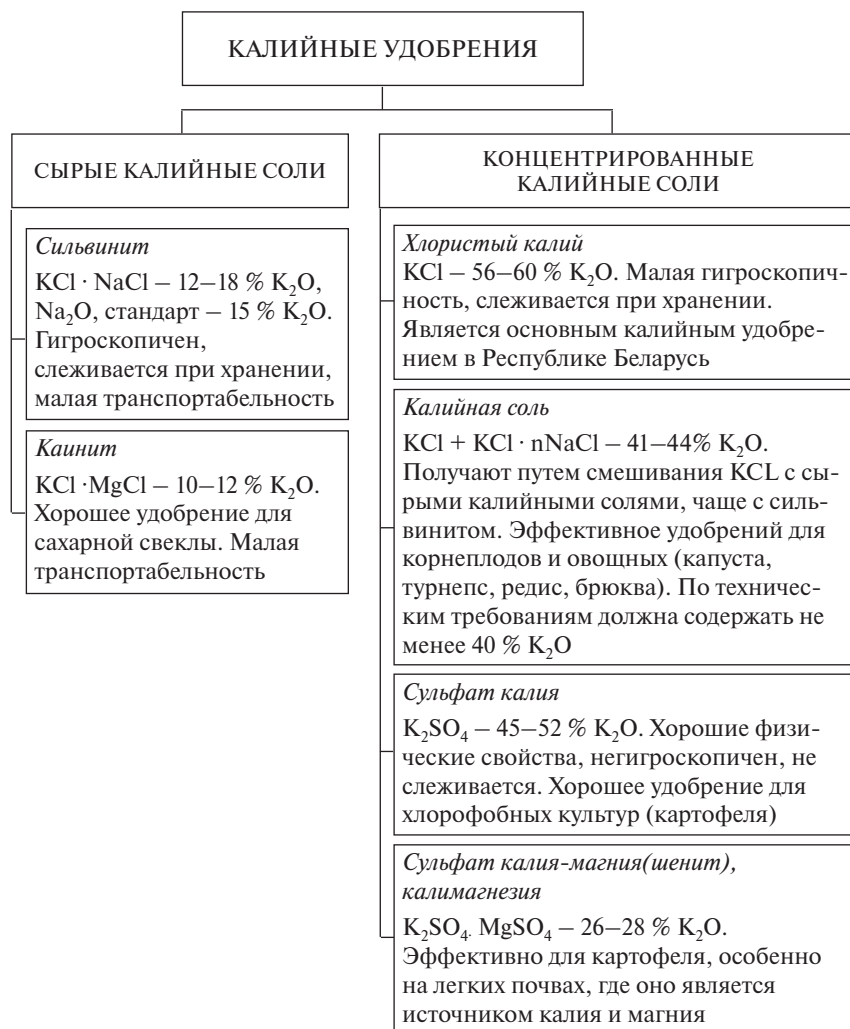


Рис. 5.7. Классификация калийных удобрений (В. Г. Минеев)

Хлористый калий (KCl) — основное калийное удобрение, на долю которого в ассортименте калийных удобрений приходится около 95 %. Содержит 56–60 % K_2O . Это кристаллическое вещество

розового, белого и красно-бурого цвета, хорошо растворимое в воде. Получают его разделением сильвинита на хлориды калия и натрия гидроциклонным способом, а также галургическим и флотационным обогащением калийных руд. При гидроциклонном способе получают крупнокристаллический хлористый калий путем разделения хлоридов калия и натрия по удельной массе в специальных аппаратах «Гидроциклон».

Галургический способ получения хлористого калия основан на различной растворимости этих солей при повышении температуры до 90–100 °С. При этом в растворах, насыщенных обеими солями, содержание хлористого калия увеличивается примерно в два раза, а хлористого натрия уменьшается. При последующем охлаждении раствора до 20–25 °С хлористый калий кристаллизуется, а хлористый натрий остается в растворе. После высушивания образовавшихся кристаллов получается белый мелкокристаллический хлористый калий, который при хранении слеживается. Грануляция улучшает физические свойства удобрения.

Флотационный способ получения хлористого калия отличается от предыдущего тем, что для отделения KCl от $NaCl$ в сильвинит добавляют поверхностно-активные вещества (амины), которые адсорбируются только на поверхности кристаллов KCl . При интенсивной продувке его кристаллы всплывают, а кристаллы $NaCl$ оседают. Флотационный хлористый калий имеет более крупные естественные кристаллы розового цвета, а реагенты на поверхности кристаллов KCl резко уменьшают слеживаемость удобрения.

Крупнокристаллический и гранулированный хлористый калий меньше поглощается почвой и более длительное время находится в доступной форме.

Сернокислый калий, или сульфат калия (K_2SO_4), — мелкокристаллическая соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимая в воде. Содержит 46–50 % K_2O . Получают путем конверсии шенита в лангбейнит при добавлении хлористого калия, который реагирует с сульфатом магния, что приводит к выделению $MgCl_2$ и дополнительному образованию сульфата калия в удобрении:



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.).

Калийная соль ($KCl + KCl \cdot nNaCl$) — кристаллическая соль серого цвета с включением розовых кристаллов. Получается механическим смешиванием хлористого калия с тонкоразмолотым сильвинитом. Содержит 41–44 % 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.

Калийсодержащая цементная пыль (14–35 % K_2O) — отход производства цемента, содержащий карбонат (K_2CO_3), бикарбонат ($KHCO_3$) сульфат калия (K_2SO_4), также $CaCO_3$, MgO (3–4 %), кремнекислоту и некоторые микроэлементы. Отсутствие хлора в цементной пыли позволяет ее применять под чувствительные к хлору культуры (картофель, гречиху и др.).

Калий электролит ($KCl \cdot MgCl_2$) — побочный продукт при производстве магнезии, содержит от 32 до 45 % K_2O в форме KCl , около 30 % $NaCl$, 2,3 % $MgCl_2$ и 16 % Na_2O . Удобрение содержит много хлора, в связи с этим его рекомендуют вносить осенью под нечувствительные к хлору культуры.

Поташ (K_2CO_3) — содержит 55–60 % K_2O , это высококонцентрированное бесхлорное удобрение, сильнощелочное, очень гигроскопично. Рекомендуется его вносить на кислых почвах, под культуры, чувствительные к хлору.

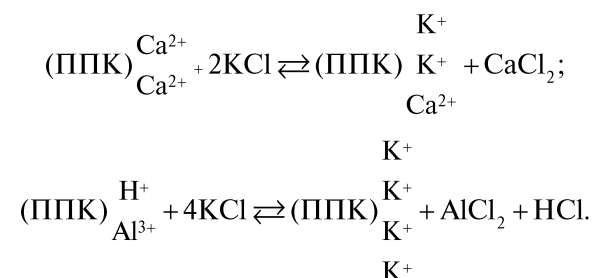
Калимагнезия ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot H_2O$), содержит 28–30 % K_2O и 8–10 % Mg . Производят в гранулированном (марка А) и порошковидных (марка Б) формах. Применяют преимущественно на культурах, чувствительных к хлору. Более эффективен на легких почвах.

Калимаг ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) содержит 16–19 % K_2O и 8–9 % Mg . Удобрение не гигроскопично, не слеживается. Применяют преимущественно под культуры, чувствительные к хлору.

В Беларуси основное место в ассортименте минеральных удобрений занимает хлористый калий. В небольших количествах используется сернокислый калий (1 %) и 2 % поступает в виде комплексных удобрений.

5.4.4. 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:



Часть калия удобрений поглощается почвой в результате необменного поглощения.

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. 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 %.

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). Сильное подкисление почвы происходит только при систематическом внесении высоких доз удобрений, особенно на почвах, не насыщенных основаниями. Чтобы предупредить отрицательное влияние калийных удобрений, на этих почвах необходимо проводить известкование.

Необменное поглощение (фиксация) калия удобрений в зависимости от минералогического состава почв и дозы калийных удобрений может составлять, по данным В. У. Пчелкина, от 14 до

82 %. Фиксированный калий менее доступен растениям, а в некоторых случаях и вовсе недоступен. Необменное поглощение калия свойственно глинистым минералам монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, поэтому размер фиксации калия почвами в сильной степени зависит от их минералогического состава. Песчаные и супесчаные почвы калия фиксируют меньше, чем средне- и тяжелосуглинистые. Высушивание почвы, особенно чередующееся с увлажнением, может значительно усиливать процессы фиксации калия. Поэтому калийные удобрения нельзя вносить в верхний часто пересыхающий слой почвы.

Разные формы калия в почве взаимодействуют следующим образом: калий кристаллической решетки \rightleftharpoons необменный калий \rightleftharpoons обменный калий \rightleftharpoons калий почвенного раствора. В результате растения могут использовать все формы калия почвы, но в разных количествах.

Характер взаимодействий калийных удобрений с почвенным поглощающим комплексом свидетельствует об очень слабой миграции калия по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв. По данным многолетних лизиметрических опытов, проведенных Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, среднегодовые потери K_2O в зависимости от типа почвы и гранулометрического состава почвы составляют в среднем 3,9–32,9 кг/га. 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. 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.

5.4.5. Приемы рационального применения калийных удобрений

Калийные удобрения обеспечивают на каждый килограмм внесенного калия прибавку урожая зерна 2–3 кг, 20–23 кг клубней картофеля, 34–40 кг корнеплодов сахарной свеклы, 1–1,5 кг

льноволокна, 20–23 кг сеянных трав, 8–18 кг сена луговых трав. В среднем калийные удобрения повышают урожайность зерновых, ярового и озимого рапса на 2–3 ц/га.

Об обеспеченности сельскохозяйственных культур калием наиболее объективно можно судить по содержанию подвижного калия в почве по методу Кирсанова. Обеспеченность пахотных почв Беларуси подвижным калием повышается, однако еще около 30 % пахотных почв имеет низкую обеспеченность подвижным калием, где отмечается высокая потребность в калийных удобрениях.

Эффективность калийных удобрений зависит от типа почвы, гранулометрического состава, наличие усвояемого калия в почве, потребности культуры в нем, насыщенности севооборота интенсивными культурами, количества атмосферных осадков и температуры, степени унавоженности почвы, от уровня применения азотных и фосфорных удобрений, способа заделки удобрений, формы калийного удобрения, применяемого под ту или иную культуру и т. д.

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

При определении доз 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. Средние дозы калийных удобрений для большинства сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах — 60–90 кг/га. Для культур с повышенной потребностью в калии (свекла, картофель, плодовые и овощные) дозы калийных удобрений увеличивают до 90–150 кг/га. На торфяных хорошо окультуренных почвах дозы калийных удобрений составляют: под зерновые и зернобобовые — 90–150 кг/га, пропашные, технические и овощные — 150–180, многолетние и однолетние травы — 120–150 кг/га.

Наиболее рациональная схема применения калийных удобрений должна предусматривать внесение основных доз калия на 120–

140 % от выноса с урожаями на слабообеспеченных по содержанию подвижного калия почвах (менее 140 мг/кг), на почвах с высоким содержанием калия (более 300 мг/кг) вынос калия целесообразно компенсировать на 50 %, а с повышенным (141–300 мг/кг) — на 100 %.

На связных почвах всю дозу калийных удобрений целесообразно вносить с осени под плуг при зяблевой вспашке и не проводить подкормок (за исключением небольшой дозы в рядки под сахарную свеклу, картофель). При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений хлор вымывается из корнеобитаемого слоя почвы осенне-весенними осадками и не оказывает отрицательного влияния на хлорофобные культуры. Если с осени калийные удобрения внести не удалось, их вносят под перепахку или 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.

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.

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

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

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. Хорошие результаты дает также совместное внесение органических и минеральных калийных удобрений.

Калий улучшает качество сельскохозяйственных культур. Различные сельскохозяйственные культуры потребляют неодинаковое количество калия. Сравнительно много его потребляют плодово-ягодные культуры, сахарная свекла, капуста, кормовые корнеплоды, картофель, клевер, люцерна, подсолнечник, гречиха, кукуруза и зернобобовые. Меньше калия требуется для формирования урожая зерновых культур.

Калий играет важную роль в синтезе и обновлении белков в растениях. При его недостатке синтез белков резко снижается и одновременно происходит распад старых белковых молекул. В растениях накапливаются растворимые азотные соединения (свободные аминокислоты). Улучшение калийного питания сопровождается повышением удельного веса белкового азота в растениях пшеницы. Усиливается также синтез амидов (аспарагина и глутамина). Положительное влияние калия на синтез белков связано с его влиянием на накопление и трансформацию кетокислоты — материал для построения аминокислот, а также с усилением под влиянием калия деятельности ферментов, участвующих в синтезе белков. Положительное влияние калийных удобрений на содержание белка чаще отмечается на почвах с низким содержанием калия, а также при благоприятном соотношении с азотными удобрениями.

Под влиянием калия повышается биосинтез углеводов, жиров. Калийные удобрения увеличивают содержание крахмала в клубнях картофеля. При недостатке калия замедляется превращение углеводов в крахмал. Однако многое зависит от формы калийных удобрений.

По действию на урожайность клубней картофеля хлористый калий и сульфат калия практически равноценны. Применение сульфата калия и других бесхлорных калийных удобрений по сравнению с хлористым калием способствует повышению содержания крахмала на 0,5–0,6 %. Однако широкое применение сульфата

калия в сельскохозяйственном производстве сдерживается высокой стоимостью. Хлорсодержащие калийные удобрения на почвах связного гранулометрического состава рекомендуется вносить под картофель осенью, а на легких почвах — ранней весной. Это будет способствовать вымыванию хлора из почвы.

При внесении калийных удобрений увеличивается содержание калия в клубнях. Высокие концентрации лимонной кислоты и витамина С при повышенном содержании калия в клубнях снижают вероятность заболевания их мякоти черной пятнистостью, изменение окраски сырой мякоти и потемнение при ее варке. Лучшее созревание клубней при внесении калийных удобрений повышает прочность их кожуры, снижает чувствительность к повреждениям при механической уборке и улучшает лежкость. При этом снижается концентрация восстановленных сахаров, что уменьшает опасность того, что при производстве чипсов и картофеля фри, вследствие реакции Малларда, появляются продукты темного цвета, с плохим вкусом.

Калийные удобрения положительно влияют на сахаристость корнеплодов сахарной свеклы. По обобщенным данным, при оптимальных дозах калийных удобрений сахаристость корнеплодов возрастает на 0,3–1,4 %.

Основной источник растительных жиров масличные — культуры (рапс, подсолнечник, горчица). Калийные удобрения также как и фосфорные способствуют повышению масличности этих культур. Применение этих удобрений может повысить содержание жира в семенах на 2–4 %. Под действием калийных удобрений увеличивается содержание более ценных ненасыщенных жирных культур.

Калий положительно влияет на качество льна. Он влияет на накопление углеводов, их передвижение и превращение в сложные формы, например, целлюлозу, которая является основной частью льноволокна. При хорошем калийном питании лубяные волокна толстостенные, многогранные, с малой плотностью, плотно прилегают друг к другу. Плотные лубяные пучки образуют сомкнутое кольцо, что обеспечивает хороший выход и качество волокна.

5.5. Серосодержащие удобрения

5.5.1. 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.

Сера — необходимый элемент питания растений. По физико-биохимическому значению она стоит в одном ряду с азотом, фосфором, калием и другими важнейшими элементами. 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. 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). По количеству серы, выносимой растениями из почвы (на единицу сухого вещества), семейства располагаются в следующей последовательности (по убывающей): крестоцветные (капуста, брюква); луковые (лук, чеснок); маревые (свекла); зонтичные (укроп); астровые (подсолнечник); бобовые (клевер, люцерна); 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 про-

дукт для синтеза белков, она же — конечный продукт их распада. В молодых органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится в основном в восстановленной форме. 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 окраски. 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.

Важнейшая функция серы в белках заключается в том, что SH-группы участвуют в образовании ковалентных, водородных связей, поддерживающих трехмерную структуру белка. Дисульфидные мостики (—S—S—связи) между полипептидными цепями или двумя участками одной и той же цепи стабилизируют структуру белковых молекул.

Сера участвует в окислительно-восстановительных процессах в клетке, благодаря обратимому переходу восстановленных соединений в окисленные: $2(-SH) \leftrightarrow -S-S-$ при взаимопревращениях цистеин \leftrightarrow цистин и $2SH -$ глутатион \leftrightarrow (S—S—глутатион). В цистине имеется дисульфидная (—S—S—), а в цистеине сульфгидридная (—SH) группы. Сульфгидрильная группа при окислении легко от-

дает водород и переходит в окислительную группу с образованием цистина.

В состав трипептида глутатиона также входит аминокислота цистеин, что определяет его участие в окислительно—восстановительных процессах.

Велика роль серы в составе кофермента A(KoA-SH), SH-группа которого участвует в образовании высокоэнергетической тиоэфирной связи ацетилкофермента A(CH₃CO-KoA). Ацетил-KoA играет важнейшую роль в метаболизме жирных кислот, аминокислот, углеводов, веществ вторичного обмена.

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^{2-} 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 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, ангидрид $CaSO_4$) и сульфидами (пирит FeS_2), FeS. Сульфидная сера становится доступной растениям после перехода в сульфатную форму. Запасы доступной растениям сульфатной серы в дерново-подзолистых почвах колеблются от 30 до 90 кг/га. 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.

5.5.2. 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 (табл. 5.9).

Таблица 5.9. Градация почв по содержанию в 1 м КСl вытяжке и запасам серы

Группа	Содержание	Минеральные почвы	Торфяные почвы	Запасы в слое 0–25 см, кг/га
I	Низкое	Менее 6,0	Менее 20,0	Менее 20,0
II	Среднее	6,1–12,0	20,1–40,0	20,1–40,0
III	Высокое	12,1–18,0	40,1–60,0	40,1–60,0
IV	Очень высокое	Более 18,0	Более 60,0	Более 60,0

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.

В связи с отрицательным балансом серы в земледелии Республики Беларусь средневзвешенное содержание сульфатной серы в гумусовом горизонте почв пахотных земель постоянно снижается.

По данным выборочного агрохимического обследования почв в республике средневзвешенное содержание подвижной серы на пахотных почвах составляет 5,35 мг/кг S. Доля слабообеспеченных серой почв в республике составляет 70,3 %, а высокообеспеченных только 1,8 %.

Средневзвешенное содержание сульфатов серы в почвах улучшенных сенокосов и пастбищ несколько выше, чем в почвах пахотных земель и составляют в среднем 7,0 мг/кг S. Более половины площади почв улучшенных сенокосов и пастбищ (53,0 %) в Беларуси имеет очень низкую обеспеченность (менее 6 мг/кг S) серы.

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 эффектив-

ности 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.

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 (сульфат аммония, сульфат калия), в последние годы резко уменьшился (из-за увеличения доли концентрированных и комплексных удобрений и сокращения — сульфата аммония) и дает не более 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 %.

Вынос серы с урожаями сельскохозяйственными культурами зависит от биологических особенностей (табл. 5.10) и их урожайности. Например, при урожайности зерна 40 ц/га и соответствующем количестве побочной продукции озимая пшеница выносит 20 кг S, ячмень яровой — 36 кг, овес — 40 кг, картофель при урожайности клубней 230 ц/га — 11 кг, сахарная свекла при урожайности 350 ц/га корнеплодов — 31 кг и капуста белокочанная при урожайности 350 ц/га — 44 кг.

Таблица 5.10. Вынос серы с урожаями культур

Культура	Урожайность, ц/га	Вынос серы, кг/га	Культура	Урожайность, ц/га	Вынос серы, кг/га
Зерновые	31	13	Лук	350	22
Картофель	230	11	Люцерна (сено)	100	27
Сахарная свекла	350	31	Клевер (сено)	90	22
Капуста	350	43	Злаки (сено)	90	13

В среднем из почвы вымывается 8,6 кг/га серы. Уровень ее потерь зависит от гранулометрического состава почвы, содержания серы, количества осадков и составляет 20,0–41,3 кг/га SO_4 .

Урожай выносят 50 кг/га серы. Таким образом, в последнее время в Беларуси по данным Института почвоведения и агрохимии серы выносятся и вымывается из почвы больше, чем поступает из разных источников (т. е. складывается отрицательный баланс — 34,6 кг/га).

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 1 т навоза содержится около 1 кг SO_3 .

В качестве серосодержащего удобрения в республике может использоваться 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. 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, калинит — 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 .

Внесение фосфогипса повышает урожайность озимой пшеницы на 3,7 ц/га, озимой ржи — на 3, овса — на 1,6, клевера (сено) — на 15, картофеля — на 29, брюквы — на 50, турнепса — на 28, кормовой капусты и люпина — на 40, кукурузы — на 197 ц/га. Оптимизация питания серой улучшает качество продукции, в частности, содержание белка в зерне зерновых культур увеличивается на 1–2 %.

Рекомендуемые дозы фосфогипса для зерновых культур, гороха, вики, люпина, клевера, люцерны, бобово-злаковых травосмесей 3 ц/га, картофеля, сахарной, кормовой, столовой свеклы,

кукурузы — 4, озимых рапса и сурепицы на семена, ярового рапса на семена, кормовых капусты и брюквы, турнепса, других капустных — 5 ц/га. Под озимые культуры на легких почвах фосфогипс лучше вносить весной одновременно с первой азотной подкормкой, а на связных — осенью в основное внесение удобрений под предпосевную культивацию. Под все яровые культуры, его вносят весной перед предпосевной культивацией одновременно с азотными удобрениями. На посевах клевера и люцерны фосфогипс рекомендуется применять поверхностно весной по отрастающим растениям (конец апреля — начало мая). Применять серосодержащие удобрения следует прежде всего на почвах I группы обеспеченности этим элементом.

Сульфаты основной источник серы для питания растений. Количество их в почве колеблется, а динамика содержания напоминает динамику содержания нитратов. Источником накопления серы являются органические и минеральные удобрения. Например, с 40 т навоза поступает около 40 кг SO_3 , а при внесении 40 кг азота в форме сульфата аммония — 120 кг SO_3 .

Из серосодержащих удобрений наиболее широко в Беларуси применяется в настоящее время сульфат аммония, который содержит 24 % серы, а также аммонизированный суперфосфат.

В перспективном земледелии сера может оказаться элементом, сдерживающим рост урожайности и качества продукции. Это связано с ростом урожайности сельскохозяйственных культур, что сопровождается увеличением выноса серы с урожаями. Значительное количество серы вымывается из почвы, так как анион SO_4^{2-} , слабо поглощается почвой, особенно легкой по гранулометрическому составу.

В ближайшее время планируется в республике использовать 40 тыс. т азота в форме сульфата аммония. Прежде всего, его целесообразно использовать под яровой и озимый рапс, картофель и другие культуры, отзывчивые на серу. Внесение 2–3 ц сульфата аммония под рапс обеспечивает потребность этой культуры в сере. Сера также содержится в аммонизированном суперфосфате и комплексных удобрениях, производимыми ОАО «Гомельский химический завод», которые вносятся в дозах под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур.

5.6. Микроудобрения

5.6.1. Значение микроэлементов

Микроэлементы — это необходимые элементы питания, находящиеся в растениях в тысячных-стотысячных долях процента.

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

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

Интенсификация земледелия усиливает потребность в микроэлементах, что связано с ростом урожайности сельскохозяйственных культур и увеличением выноса ими микроэлементов. 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 в Беларуси, которые являются также источником микроэлементов.

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.

На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. По обобщенным данным ряда научных исследований Беларуси и России, прибавка урожайности от применения микроудобрений приведена в табл. 5.11. При применении микроудобрений существенно улучшается и качество продукции, так как они положительно влияют на накопление белков и углеводов. 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.

Таблица 5.11. Влияние применения микроэлементов на урожайность сельскохозяйственных культур

Культура	Средняя прибавка урожайности, ц/га				
	Бор	Медь	Цинк	Молибден	Марганец
Озимая пшеница (зерно)	—	3,0–4,0	—	—	2,1
Озимое тритикале (зерно)	—	2,0–3,0	—	—	—
Озимая рожь (зерно)	—	2,0–3,0	—	—	—
Ячмень (зерно)	2,0	2,8	1,8	—	—
Яровая пшеница (зерно)	—	3,1	2,4	2,0	2,2
Овес (зерно)	—	3,2	—	—	—
Кукуруза (зеленая масса)	49,0	53,0	58,0	51,0	—
Клевер (семена)	0,5	—	—	0,5	—
Горох (семена)	2,8	2,3	—	2,7	—
Лен (солома)	8,0	4,9	6,0	3,6	—
Картофель (клубни)	39,0	45,0	—	—	—
Сахарная свекла (корнеплоды)	37,0	36,0	—	23,0	23,7
Яровой рапс (семена)	2,1	—	—	—	—
Вика яровая (зерно)	3,4	2,0	—	2,1	—
Кормовая свекла	36,0	—	—	—	—
Люпин (семена)	—	—	—	1,4	—
Люпин (зеленая масса)	—	—	—	30	—

Несбалансированность элементного состава кормов и пищевых продуктов по микроэлементам приводит к нарушению мине-

рального обмена, что является причиной и стартовым механизмом возникновения многих заболеваний, в том числе сердечнососудистых, онкологических и других. Например, первичный дефицит меди, а также неблагоприятное соотношение этого элемента с цинком приводят к биохимическим сдвигам, которые можно рассматривать в качестве факторов риска ишемической болезни сердца. 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.

Имеются сведения о положительном влиянии кобальтовых добавок на сопротивляемость раковой агрессии.

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.

Многочисленные эксперименты показали, что с помощью условий почвенного питания микроэлементный состав сельскохозяйственных культур, может быть подвергнут существенной коррекции хотя пределы содержания микроэлементов отличаются друг от друга. Так, содержание меди и цинка в растениеводческой продукции можно с помощью микроудобрений увеличить в 1,2–2,5 раза, кобальта в 1,2–1,7 раза. Гораздо более высокое повышение концентрации молибдена отмечено при внесении молибденовокислого аммония.

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.

Необходимое в некоторых случаях снижение содержания микроэлементов в растениеводческой продукции может быть достигнуто путем известкования почвы.

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.

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.

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.

Основными источниками поступления микроэлементов в почву являются материнские почвообразующие породы. Чем больше микроэлементов в материнской породе, тем, как правило, больше их в почве. 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 Беларуси с увеличением содержания частиц физической глины растёт количество микроэлементов. Так, в моренных лессовидных суглинках содержание кобальта, хрома, стронция в 2–2,5 раза, а никеля, ванадия, титана, бария, бора, марганца в 3–4 раза больше, чем в песках. Самые высокие концентрации всех исследуемых микроэлементов, за исключением бора, характерны для озерно-ледниковых глин. Торфяно-болотные почвы бедны микроэлементами.

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.

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

Дефицит микроэлементов в почве может снижать эффективность применения макроудобрений. Объясняется это тем, что не-

достаток микроэлементов приводит к нарушению важнейших биохимических процессов в организме растений.

В решение теоретических и практических вопросов, связанных с питанием растений микроэлементами, большой вклад внесли Я. В. Пейве, М. В. Катылов, П. А. Власюк, О. К. Кедров-Зихман, М. Я. Школьник, Г. П. Дубиковский, В. В. Лапа, М. В. Рак и другие ученые.

Многие исследователи сообщают о важном свойстве микроэлементов образовывать комплексы с нуклеиновыми кислотами, оказывать действие на физиологические функции рибосом, влиять на проницаемость клеточных мембран и регулировать поступление минеральных веществ в растения.

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.

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

Запасы подвижных форм микроэлементов изменяются не только по годам, но и в течение вегетационного периода под влиянием увлажнения и других факторов. Так, по данным 14 тура обследования в Беларуси, 46,5 % площади пашни имеют pH_{KCl} 6,1 и

выше, при которой снижается подвижность меди, цинка, кобальта, марганца и других микроэлементов.

Изучение различных способов применения микроудобрений (внесение в почву, предпосевная обработка семян, некорневые подкормки) показали, что наиболее рациональным приемом применения микроэлементов являются некорневые подкормки. При этом способе по сравнению с внесением в почву существенно снижается расход дорогостоящих микроудобрений, повышается коэффициент их использования до 40–70 % и они вносятся в тот момент, когда в них ощущается максимальная потребность. Некорневые подкормки микроэлементами можно совмещать с применением КАС и средств защиты растений, что позволяет экономить значительные средства.

Роль микроэлементов все более возрастает в условиях интенсивного земледелия. С увеличением значения pH 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 комплексонов (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 комплексонов микроэлементов опрыскивание посевов и обработка семян. Исследованиями было показано более высокое использование микроэлементов из хелатов по сравнению с их сернокислыми солями.

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

По обобщенным данным Д. А. Коренькова, применение комплексонов цинка, меди, марганца и железа увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур на 20–40 %, в том числе яч-

меня — на 34 %, овса — 24, ржи и пшеницы 6–29, картофеля — на 20–25 %. В Беларуси разработаны комплексные микроудобрения с регуляторами роста. МикроСтим и МикроСил, приготовленные на основе хелатов металлоэлементов и бора в органо-минеральной форме (табл. 5.12). Их производство налажено на 4 предприятиях республики и во многом решает проблему потребности в микроудобрениях. Их применяют для обработки семян и некорневых подкормок.

Таблица 5.12. Ассортимент отечественных жидких комплексных микроудобрений для сельскохозяйственных культур

Марка микроудобрения	Состав, г/л	Культура
1	2	3
МикроСтим-Бор	N – 50; B – 150; гуминовые вещества – 0,6–8,0	Сахарная свекла, рапс, лен, картофель, гречиха, зернобобовые, овощные, плодовые и ягодные
МикроСтим-Бор, Медь	N – 65; B – 40; Cu – 40; гуминовые вещества – 0,6–6,0	Лен, рапс, картофель, гречиха, сахарная свекла, овощные, плодовые и ягодные
МикроСтим-Кобальт	N – 53–73; Co – 127–140	Зернобобовые
МикроСтим-Кобальт, Бор	N – 90–115; Co – 45–55; B – 45–55; гуминовые вещества – 0,6–9,0	Зернобобовые
МикроСтим-Медь Л	N – 65; Cu – 78; гуминовые вещества – 0,6–5,0	Озимые и яровые зерновые, овощные, плодовые и ягодные
МикроСтим-Марганец	N – 35; Mn – 50	Озимые и яровые зерновые, рапс, сахарная свекла
МикроСтим-Медь ПС	N – 47; Cu – 60; гуминовые вещества – 0,9–6,0	Озимые и яровые зерновые
МикроСтим-Медь, Марганец	N – 35–70; Cu – 25–55; Mn – 20–30	Озимые и яровые зерновые
МикроСтим-Медь, Молибден	N – 66–86; Cu – 45–55; Mo – 45–55; гуминовые вещества – 0,6–9,0	Озимые и яровые зерновые
МикроСтим-Медь, Цинк, Бор ИС	N – 50,0; Cu – 7,3; Zn – 6,5, B – 6,1; гуминовые вещества – 0,15–0,6	Лен

Окончание табл. 5.12

1	2	3
МикроСтим-Цинк, Бор	N – 93; Zn – 46,0; B – 30,0; гуминовые вещества – 0,48–6,0	Лен, кукуруза, гречиха, овощные, плодовые и ягодные
МикроСтим-Цинк, Медь	N – 60–100; Zn – 35–55; Cu – 45–55	Кукуруза
МикроСтим-Молибден	N – 65–85; Mo – 140–160; гуминовые вещества – 0,6–6,0	Многолетние бобовые травы
МикроСил-Бор	N – 50; B – 150; экосил – 30 мл/л	Сахарная свекла, рапс, лен, картофель, гречиха, люпин
МикроСил-Бор, Медь	N – 65; B – 40; Cu – 40; экосил – 30 мл/л	Сахарная свекла, рапс, лен, картофель, зернобобовые, томат, перец, баклажан
МикроСил-Медь Л	N – 65; Cu – 80; экосил – 30 мл/л	Озимые и яровые зерновые, томат, перец, баклажан
МикроСил-Медь ПС	N – 47; Cu – 60; экосил – 70 мл/л	Озимые и яровые зерновые
МикроСил-Медь, Цинк, Бор ИС	N – 50; Cu – 7,3; Zn – 6,5; B – 6,1; экосил – 12 мл/л	Лен
МикроСил-Цинк, Бор	N – 93; Zn – 46,0; B – 30,0; экосил – 30 мл/л	Лен, кукуруза

5.6.2. 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. Благодаря особому строению электрической оболочки атома, бор может легко вступать в соединения почти со всеми химическими элементами, вследствие чего он участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных комплексов биополимеров, прежде всего белков, нуклеиновых кислот, липидов и полисахаридов. Комплексы перечисленных биополимеров лежат в основе важнейших компонентов клетки — рибосом, мембранного аппарата, хроматина и клеточных стенок. Функции бора в растительном организме, пре-

жде всего связанные с метаболизмом углеводов, переносом сахаров через мембраны, синтезом ДНК и РНК и фитогормонов; образованием и развитием тканей. Значительное влияние бор оказывает на фотосинтетическую деятельность растений; способствует увеличению количества и размеров хлоропластов, содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях.

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.

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

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.

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.

Бор значительно повышает не только урожайность, но улучшает и качество продукции: в растениях увеличивается содержание белка, сахаров, крахмала, витаминов, повышается масличность семян, всхожесть, энергия прорастания.

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.

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

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. Зерновые культуры от избытка бора могут страдать уже при содержании подвижного бора 0,7–0,9 мг на 1 кг почвы, а люцерна и свекла могут переносить концентрацию в почве свыше 25 мг на 1 кг почвы. Содержание бора в подвижной форме свыше 30 мг на 1 кг почвы является причиной тяжелых заболеваний не только растений, но и животных.

Валовое содержание бора в дерново-подзолистых почвах составляет в среднем 7,8–27,0 мг/кг почвы, подвижных форм — 0,17–0,8 мг/кг, увеличиваясь при переходе от песчаных к суглинистым и глинистым почвам. В торфяных почвах содержание в среднем составляет 16,5 мг на кг почвы общего бора.

Окультуренные почвы богаче бором, как валовым, так и подвижным. Было установлено, что в дерново-подзолистых почвах очень небольшой процент (менее 2) общего бора переходит в водную вытяжку, что характеризует очень низкую подвижность бора в этих почвах. Низкую подвижность бора в почвах (особенно легких) можно объяснить тем, что борная кислота слабо фиксируется почвой и может вымываться осадками, а также наличием труднорастворимых борных соединений, к которым относятся и борсодержащие минералы (турмалин и другие). В Беларуси 3,0 % пахотных почв имеет низкую обеспеченность подвижным бором. В среднем по республике содержание на пашне подвижного бора составляет 0,61 мг/кг почвы, т. е. имеет среднюю обеспеченность 71,6 % пахотных земель Республики Беларусь по обеспеченности подвижными соединениями бора относятся к 1-й и 2-й группе.

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.

Источником бора для растений являются органические удобрения (табл. 5.13). При внесении повышенных доз органических

удобрений потребность растений в микроэлементах в значительной мере удовлетворяется.

Таблица 5.13. Содержание микроэлементов в навозе, г/т (влажность 74–75 %)

Навоз	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Крупного рогатого скота	112,5	38,3	8,4	3,8	0,2
Свиной	102,6	68,7	12,7	3,1	0,2
Конский	91,5	36,0	6,2	3,1	0,2
Птичий помет	41,2	30,9	3,1	—	—

Основными производителями борного сырья являются США, Турция и Аргентина. На США приходится около 90 % общих запасов борного сырья (1 млрд т B_2O_3). В СНГ наиболее крупными месторождениями являются Индерское (Казахстан) и Дальневосточное (Россия).

На почвах IV группы обеспеченности применение борных удобрений исключается.

Таблица 5.14. Градации почв по содержанию подвижных форм микроэлементов, мг/кг почвы

Элемент	Вытяжка	Группа по обеспеченности микроэлементами			
		I (низкая)	II (средняя)	III (высокая)	IV (избыточная)
Cu	1,0 н HCl	Менее 1,5*	1,6–3,0	3,1–5,0	5,1–10,0
		Менее 5,0**	5,1–9,0	9,1–12,0	12,1–16,0
Zn	1,0 н HCl	Менее 3,0	3,1–5,0	5,1–10,0	10,1–16,0
		Менее 10,0	10,1–15,0	15,1–30,0	30,1–50,0
B	H ₂ O	Менее 0,3	0,31–0,70	0,71–1,00	Более 1,0
	H ₂ O	Менее 1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–5,3
Mn	0,1 н H ₂ SO ₄	Менее 25	25,1–100	100,1–300	Более 200
		Менее 75	75,1–300	300,1–600	600,1–900
Mn	1,0 н KCl	Менее 2,0	2,0–6,0	6,1–10,0	Более 10,0
		Менее 6,0	6,0–8,0	18,1–30,0	Более 30,0
Co	1,0 н HNO ₃	Менее 1,0	1,1–2,5	2,51–3,0	Более 3,0
		Менее 3,0	3,1–7,5	7,51–9,0	9,1–12,0
Mo	Аксалатный буфер, pH 3,3	Менее 0,1	0,11–0,20	0,21–0,40	Более 0,40
		Менее 0,3	0,31–0,60	0,61–1,20	Более 1,20

* Минеральные почвы (в числителе).

** Торфяные (в знаменателе).

В условиях недостатка борных удобрений в первую очередь они должны использоваться под лен, сахарную свеклу, семенники многолетних бобовых трав и рапс на почвах I и II группы по содержанию подвижного бора. Вынос бора, меди и цинка с урожаями сельскохозяйственных культур приведен в табл. 5.15.

Таблица 5.15. Вынос микроэлементов с урожаями сельскохозяйственных культур, г/т сухой массы

Культура	Содержание в 1 т продукции					
	B		Cu		Zn	
	1	2	1	2	1	2
Озимая рожь	2,0	3,1	3,9	3,0	30,4	28,0
Озимая пшеница	1,8	3,2	4,8	3,6	30,2	25,1
Яровая пшеница	2,3	3,1	5,6	5,2	21,4	21,6
Ячмень	2,7	4,2	5,0	4,1	26,3	21,6
Овес	2,3	3,5	5,1	5,0	24,2	20,6
Гречиха	2,8	11,5	1,8	2,9	26,2	24,1
Горох	4,7	19,7	6,0	5,7	33,0	23,4
Вика	5,2	7,2	5,2	5,8	33,0	18,7
Люпин, зерно	4,4	9,1	5,2	4,6	32,5	18,7
Лен, солома	10,0	8,1	10,1	14,6	5,0	21,7
Картофель	6,8	4,1	7,9	11,2	28,5	84,0
Сахарная свекла	14,5	22,9	5,5	4,8	50,0	60,0
Кукуруза, з/м	3,5	—	5,3	—	26,3	—
Многолетние злаковые травы, сено	7,4	—	8,0	—	11,2	—
Многолетние бобовые травы, сено	11,6	—	5,6	—	11,4	—

Примечание. 1 — основная, 2 — побочная продукция.

Из борных удобрений применяют следующие.

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 (табл. 5.16, 5.17).

Для некорневых подкормок борная кислота для озимого и ярового рапса используется в дозе 1100–1700 г/га, зернобобовые, многолетние бобовые травы на семена — 150–300 г/га (фаза бутонизации); сахарная кормовая свекла — 850–1700 г/га (1-я — в фазе 10–12 листьев, 2-я — через 1,0–1,5 месяца после первой); лен — 300–500 г (фаза елочки).

Таблица 5.16. Нормы расхода микроудобрений для обработки семян, г/ц семян

Культура	Сульфат меди	Борная кислота	Сульфат цинка	Молибдат аммония
Зерновые	—	20–40	80–100	—
Зернобобовые	—	20–30	—	15–20
Сахарная и кормовая свекла	—	150–200	200–250	—
Картофель* (на 1 т)	50–60	30–50	40–60	—
Многолетние злаковые травы	150–200	—	—	—
Кукуруза	—	20–40	80–100	—
Лен	100–200	100–150	150–200	—

* Обрабатывается без NaKMЦ, расход воды увеличивается в 2 раза.

Таблица 5.17. Дозы микроэлементов для некорневых подкормок сельскохозяйственных культур

Культура	Микроэлемент	Некорневая подкормка	
		Доза, г/га д. в.	Срок применения
Озимые зерновые	Медь (Cu)	50	Конец кущения, Флаговый лист
	Марганец (Mn)	50	
Яровые зерновые	Медь (Cu)	50	Первый или второй узел
	Марганец (Mn)	50	
Горох, вика, гречиха	Бор (В)	50	Бутонизация, Ветвление
	Марганец (Mn)	50	
Люпин узколистый	Бор (В)	50	Бутонизация
	Молибден (Mo)	50	
	Марганец (Mn)	50	
Лен-долгунец	Бор (В)	150	Фаза «елочки»
	Цинк (Zn)	250	
Сахарная свекла, кормовая свекла	Бор (В)	200	10–12 листьев, 25–30 листьев
	Марганец (Mn)	50	
Картофель	Бор (В)	50	Смыкание ботвы
	Медь (Cu)	50	
	Марганец (Mn)	50	
Озимый и яровой рапс	Бор (В)	300	Бутонизация
	Медь (Cu)	175	
	Марганец (Mn)	100	
Кукуруза	Цинк (Zn)	75	6–8 листьев
	Медь (Cu)	75	
Семенники многолетних бобовых трав	Молибден (Mo)	40	Бутонизация
	Бор (В)	50	

Разработана технология получения микроудобрений путем включения их в однокомпонентные или сложные удобрения. К таким удобрениям относятся: простой суперфосфат, обогащенный бором (0,2 % бора), двойной суперфосфат с бором (0,4 % бора), аммофос с бором (0,8 % бора), нитроаммофоска с бором (0,17 % бора), а также комплексные удобрения для льна, рапса, сахарной свеклы и др. Дозы микроудобрений для основного внесения в почву приведена в таблице 5.18. При внесении в рядки (лен, свекла и др.) доза внесения борсодержащего удобрения определяется по фосфору.

Таблица 5.18. Дозы микроэлементов для основного внесения

Культура	Микроэлемент	Доза внесения, кг д. в.
Озимые и яровые зерновые	Медь	0,5–1,0
Зернобобовые	Бор	0,5
Сахарная свекла, кормовые корнеплоды	Бор	0,5–0,8
Лен	Бор	0,5–1,0 1,5
	Цинк	
Картофель	Бор	0,4–0,8 2,0
	Медь	
Крестоцветные	Бор	0,5
Кукуруза	Цинк	1,0–3,0
Многолетние бобовые травы	Медь	3,0 1,0–3,0
	Цинк	
Многолетние злаковые травы	Медь	0,8–1,5 0,7–1,2
	Цинк	

Наиболее эффективным способом применения микроудобрений являются некорневые подкормки, так как они позволяют обеспечить растения микроэлементами тогда, когда в них ощущается максимальная потребность. Средние дозы и сроки некорневых подкормок борными и другими микроэлементами приведены в табл. 5.17.

Солюбор ДФ — порошок белого цвета, содержит 17,5 % бора и хорошо растворяется в воде. Предельная растворимость в 1 л водного раствора при температуре 20 °С — 170 г.

Адоб Бор — жидкий концентрат удобрения, содержащий 15 % бора в органоминеральной форме. В одном литре удобрения содержится 150 г бора. Для некорневых подкормок льна-долгунца

Адоб Бор используется в фазе всходы — начало фазы «елочка» в дозе 0,7–1,4 л/га в баковой смеси с инсектицидами против льняной блошки, для зернобобовых культур в фазе бутонизации в дозе 0,3 л/га в баковой смеси с инсектицидами, для сахарной свеклы — в фазе 10–12 листьев в дозе 0,7–2 л/га, ярового и озимого рапса — в фазе начало бутонизации в дозе 2,0 л/га в баковой смеси с одним из инсектицидов: децис, каратэ-зеон, суми-альфа, фастак на 200 л рабочего раствора.

Эколист моно Бор — жидкий концентрат удобрения, содержащий 11 % бора (весовые) в органо-минеральной форме. В одном литре удобрения содержится 150 г бора. Эколист моно Бор применяется для некорневых подкормок льна-долгунца, сахарной свеклы, зернобобовых культур, ярового и озимого рапса в тех же дозах и в те же сроки, что и Адоб Бор.

МикроСтим-Бор — жидкое комплексное удобрение с регулятором роста растений. Содержит в 1 л 50 г азота, 150 г бора, 0,6–0,8 г/л гуминовых веществ. Применяется также как Адоб Бор.

МикроСил-Бор — жидкое комплексное удобрение с регулятором роста. Содержит в 1 л 50 г азота, 150 г бора, 30 мл экосила. Применяется для некорневых подкормок.

ОАО «Гомельский химический завод» производит аммофос с бором. Содержит 12 %, 50–52 % P_2O_5 и 0,4 % бора. Применяется для основного внесения.

В России производится простой суперфосфат, обогащенный бором (0,2 % бора) и двойной суперфосфат с бором (0,4 % бора). Эти удобрения вносятся перед севом или в рядки при посеве.

Потребность в борных удобрениях для некорневых подкормок в настоящее время в Беларуси по расчетам Института почвоведения и агрохимии составляет 197,6 т д. в.

5.6.3. Медные удобрения

Медь в условиях Беларуси является одним из дефицитных элементов питания. Этим часто объясняется недобор урожая и недостаточное содержание меди в растительных кормах.

Физиологическая роль меди в растениях в значительной мере определяется входением ее в состав медьсодержащих белков и ферментов (цитохромоксидазы, полифенолоксидазы, аскорбина-

токсидазы, нитритредуктазы, гипонитритредуктазы, тирозиназы, редуктазы, оксида азота и др.). Она играет важную роль в окислительных процессах, дыхательных, в образовании хлорофилла, азотом, углеводном и белковом обмене, активизирует фотосинтез.

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.

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

Валовое содержание меди в автоморфных дерново-подзолистых почвах Беларуси составляет 4,7–10,5 мг/кг, увеличиваясь при переходе от почв легкого гранулометрического состава к тяжелым.

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

Медь входит в состав более двухсот минералов (медный колчедан, медный блеск, малахит, лазурит и др.). К 1-й группе по обеспеченности. Средневзвешенное содержание подвижной меди в почвах Беларуси составляет 1,78 мг/кг почвы, т. е. они являются среднеобеспеченными. Почвы 1-й и 2-й группы по обеспеченностью медью, где требуется внесение медных удобрений, составляют 90,1 %.

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, металлорганических комплексов и как составная часть некоторых минералов. В торфяных почвах медь содержится в

малодоступных для растений металлорганических соединениях, и здесь медные удобрения проявляют особо высокое действие.

Потребность в меди снижается при применении органических удобрений. Содержание меди в органических удобрениях приведено в табл. 5.13.

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.

Содержание меди в растениях определяется рядом факторов, важнейшими из которых являются биологические особенности самого растения и содержание подвижной меди в почве. В растениях ее содержится от 3 до 15 мг на 1 кг сухого вещества. Оптимальное содержание меди в кормах 7–12 мг/кг сухого корма.

Медь оказывает влияние на образование в почвах нитратов. С урожаями различных культур меди выносятся 7–327 г с 1 га. В табл. 5.15 приведен вынос меди сельскохозяйственными культурами.

Особенно чувствительны к недостатку меди овес, ячмень и пшеница.

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

Медные удобрения наиболее эффективны на торфяных почвах, и на дерново-подзолистых легкого гранулометрического состава и заболоченных. Отзывчивыми культурами на медь являются ячмень, овес, пшеница, травы, лен, корнеплоды, луговой клевер, сахарная и кормовая свекла, овощные и плодово-ягодные культуры. Медь является тяжелым металлом и при избыточном количестве оказывает токсическое действие на растения. Большие запасы медного сырья имеются в России (Туринские рудники), Казахстане, США. В качестве медных удобрений наиболее широко используется сульфат меди.

Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Содержит 23,4–24,9 % Cu. Это кристаллический порошок серо-голубого цвета, хорошо растворимый в воде. Медный купорос широко применя-

ется для обработки семян (табл. 5.16) и некорневых подкормок (табл. 5.17) сельскохозяйственных культур. Эффективность некорневых подкормок зерновых культур медью особенно возрастает в засушливые годы. В первую некорневую подкормку озимых пшеницы и тритикале (фаза начала выхода в трубку) рекомендуется 200 г/га сульфата меди, вторую (начало колошения) — 300 г/га. Для яровой пшеницы и тритикале, ячменя, овса, многолетних злаковых трав — 200–300 г/га (в фазе начала выхода в трубку).

Гродненским объединением «Азот» отработана технология получения КАС с медью (0,5 и 0,05 % Cu), которое можно использовать для основного внесения и подкормки. Для некорневых подкормок, по расчетам РКП «Института почвоведения и агрохимии», потребность Беларуси в медных удобрениях составляет 114,5 т д. в.

ОАО «Гомельский химический завод» производит аммофос с добавкой меди, который содержит 12 % N, 52 % P_2O_5 и 0,9 % Cu. Применяется для основного внесения.

Адоб Медь — жидкий концентрат удобрения, содержащий 6,43 % меди в хелатной форме, 9 % азота и 3 % магния.

В 1 л удобрения содержится 64 г меди, 90 г азота и 30 г магния. Удобрение производится в Польше.

Адоб Медь можно использовать для некорневой подкормки посевов яровых зерновых культур в стадии первого или второго узла в дозе 0,8 л/га. В стадии первого узла можно внесение этого микроудобрения совмещать с ретардантом (хлормекватхлоридом). В стадию второго узла — с терпалом Ц. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Первая подкормка озимых зерновых культур Адоб медь производится в дозе 0,2 л/га в фазе — начало активной вегетации весной или стадии первого узла. Можно в фазе начала активной вегетации производить ее совместно с КАС, а в стадии первого узла в баковой смеси с ретардантом (хлормекватхлоридом) или фунгицидом (фундазолом) и добавлением мочевины — 15 кг на 200 л/га рабочего раствора.

Вторая подкормка производится на высокопродуктивных посевах озимой пшеницы и озимой тритикале в дозе 0,8 л/га в фазе флагового листа или колошения. Ее можно совмещать с внесением фунгицидов (фалькон, тилт, альто супер, амистар экстро).

Эколист моно Медь — жидкий концентрат удобрения, содержащий 7 % меди в хелатной форме, 6 % азота и 4 % серы. В одном литре удобрения содержится 88 г меди, 75 г азота и 65 г серы. Эколист моно Медь для некорневой подкормки яровых зерновых культур, первой и второй подкормок озимых зерновых культур применяется в дозе 0,6 л/га в те же сроки, что и Адоб Медь.

МикроСтим-Медь — жидкое комплексное микроудобрение с регулятором роста. Содержит в 1 л 65 г азота, 78 г меди и 0,5–5,0 г гуминовых веществ. Применяется для некорневых подкормок (табл. 5.12).

5.6.4. Цинковые удобрения

Цинк входит в состав 30 ферментов (карбоангидразы, многих дегидрогеназ, щелочной фосфатазы и др.) и принимает участие в белковом, фосфорном обмене, синтезе ДНК аскорбиновой кислоты, тиамина и ростовых веществ, повышает водоудерживающую силу растений. Цинковое голодание приводит к нарушению углеводного обмена, задерживает образование сахарозы, крахмала и хлорофилла. Содержание цинка в растениях колеблется от 15 до 22 мг на 1 кг сухого вещества, с урожаем его выносятся 0,075–2,2 кг/га.

Наиболее чувствительны к недостатку цинка кукуруза, лен, плодовые и бобовые культуры. У яблони, вишни, абрикоса при недостатке цинка наблюдается мелколистность и розеточность.

Цинк широко распространен в природе и входит в состав 64 минералов, из которых наибольшее практическое значение имеют сфалерит, цинкит, смитсонит. Меньше всего цинка содержится в нейтральных дерново-подзолистых почвах, кислые дерново-подзолистые почвы обычно отличаются повышенным содержанием подвижного цинка.

Валовое содержание цинка в автоморфных дерново-подзолистых почвах Беларуси составляет в среднем 16,0–46,6 мг/кг.

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.

В Беларуси 64,9 % пахотных земель слабообеспечены подвижным цинком, а 91,4 % относится к 1 и 2 группе по обеспеченности. Средневзвешенное содержание подвижного цинка в пахотных почвах республики составляет 2,99 мг/кг, т. е. является низким. Общая ежегодная потребность в цинке для некорневых подкормок, по расчетам Института почвоведения и агрохимии, составляет 138 т д. в.

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. Цинк является тяжелым металлом и его избыток оказывает токсическое действие на растения. В Беларуси 176 тыс. га земель загрязнено цинком.

Наиболее распространенным цинковым удобрением является *сернокислый цинк* $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$, содержащий 21–23 % цинка. Дозы сульфата цинка для обработки семян и некорневой подкормки приведены в табл. 5.16 и 5.17. На Гомельском химическом заводе отработана технология получения аммофоса и аммофосфата с содержанием 0,8 % В и 1,5 % Zn, которые можно использовать для основного внесения под кукурузу, лен, сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, картофель. Дозы цинка для основного внесения приведены в табл. 5.18. Однако в связи с дороговизной и недостатком микроудобрений в первую очередь следует предусмотреть некорневые подкормки сернокислым цинком посевов кукурузы и льна (табл. 5.17). Для некорневых подкормок льна применяется 500–800 г сернокислого цинка (фаза елочки), кукурузы — 250–300 г/га (6–8 листьев).

Адоб цинк — жидкий концентрат удобрения, содержащий 6,2 % цинка в хелатной форме, 9 % азота и 3 % магния. В одном литре удобрения содержится 62 г цинка, 90 г азота и 30 г магния. Используется для некорневых подкормок льна-долгунца в фазе всходы — начало фазы «елочка» до высоты 4–5 см в дозе 0,7–1,4 л/га в баковой смеси с инсектицидами против льняной блошки, кукурузы — в фазе 6–8 листьев в дозе 2 л/га в баковой смеси с 10 кг мочевины на 200 л/га рабочего раствора.

Эколист моно цинк — жидкий концентрат удобрения, содержащий 8 % цинка, 6 % азота и 3,8 % серы. В одном литре удобрения

содержится 108 г цинка, 81 г азота и 51 г серы. При некорневых подкормках льна-долгунца применяется в дозе 1,8–2,7 л/га, кукурузы — в фазу 6–8 листьев в дозе 1,3 л/га в те же сроки, что и Адоб цинк.

Аммофос с добавкой цинка. Содержит 12 % N, 52 % P₂O₅ и 0,8 % Zn. Применяется для основного внесения. Производится в ОАО «Гомельский химический заводом».

В Беларуси производятся жидкие комплексные микроудобрения МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Цинк, Бор, МикроСтим-Цинк, Медь, МикроСил-Медь, Цинк, Бор (табл. 5.12).

5.6.5. Молибденовые удобрения

Молибден является необходимым компонентом всех растительных и животных организмов. Он входит в состав фермента нитратредуктазы, участвует в восстановлении нитратов в растениях, а также в фермент нитрогеназу, участвующую в фиксации атмосферного азота микроорганизмами как свободноживущими (азотобактер и др.), так и клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых культур. 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.

Молибден входит в состав хлоропластов, участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, образовании пигментов и витаминов.

Растения поглощают молибден в форме ионов MoO₄²⁻. Конкуренция со стороны ионов SO₄²⁻ 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.

Валовое содержание молибдена в автоморфных дерново-подзолистых почвах Беларуси составляет 0,17–0,7 мг/кг почвы, увеличиваясь при переходе от песчаных почв к супесчаным и суглинистым.

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.

Растениям доступна лишь незначительная часть общего количества молибдена, поэтому важно учитывать содержание его подвижных форм, доступных для растений. 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. Причем, как показали исследования, при известковании поступление молибдена в значительно большей мере увеличивается в бобовые, чем в злаковые растения. Подвижность молибдена увеличивается и при внесении фосфора. В растениях молибдена содержится очень мало — 0,1–0,93 мг на 1 кг сухого вещества. Сельскохозяйственные культуры с 1 га выносят от 1 до 22,8 г молибдена. Больше его потребляют растения семейства бобовых. Вынос молибдена увеличивается при внесении молибдена и повышенных доз фосфора.

Потребность пахотных земель Беларуси для некорневых подкормок молибденом, по данным Института почвоведения и агрохимии, составляет 2,0 т д. в.

Наиболее распространенным молибденовым удобрением является *молибденовокислый аммоний* (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, содержащий 50–52 % Mo. Дозы этого удобрения для обработки семян бобовых трав, а также для некорневой подкормки зернобобовых культур приведены в табл. 5.16 и 5.17. Для семенных многолетних бобовых трав рекомендуется молибдат аммония применять в дозе 50–100 г/га в фазе бутонизации. Гомельским химическим заводом отработана технология получения аммофоса и аммофосфата с содержанием 0,8 % В и 1,4 % Мо, которые могут использоваться под зернобобовые, овощи, семенники бобовых трав для основного и припосевного удобрения. Дозы этих удобрений устанавливаются по фосфору.

5.6.6. Кобальтовые удобрения

Кобальт необходим для растительных и животных организмов. Он входит в состав витамина В₁₂, многих ферментов.

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 В₁₂.

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.

Установлена связь кобальта с ауксиновым обменом и отмечается, что он способствует растяжению клеточных оболочек.

Кобальтат изменяет ультраструктуру азотфиксирующего аппарата и бактериоды активнее функционируют.

Одной из сторон действия кобальта на азотфиксацию является его участие в биосинтезе леггемоглобина. Кобальт повышает активность дегидрогеназ, гидрогеназы, нитратредуктазы, способствует увеличению содержания хлорофилла.

Применение кобальта позволяет оптимизировать его содержание в растениеводческой продукции, что повышает ее диетическую ценность.

При содержании кобальта в кормах менее 0,07 мг/кг сухого сена животные заболевают акальтозом. Поэтому необходимо применять кобальтсодержащие удобрения на лугах и пастбищах в районах кобальтовой недостаточности.

Кобальтсодержащие удобрения эффективны при количестве этого элемента в почвах Нечерноземной зоны 1,0–1,1 мг/кг почвы. Низким считается содержание в 1 кг почвы 1,0 мг/кг и менее, средним — 1,1–2,5, высоким — 2,6–3,0 и избыточным — более 3,0 мг/кг почвы (табл. 5.14).

Основным кобальтсодержащим удобрением является *сернокислый кобальт* $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 20–21 % Со и *хлористый кобальт* CoCl_2 — 46–47 % Со. Применяют под зернобобовые культуры, сахарную свеклу, картофель, многолетние травы. Сернокислый кобальт для улучшения качества сахарной свеклы, кормовых корне-

плодов и многолетних бобовых трав рекомендуется вносить в идее некорневых подкормок в дозе 150–250 г/га.

ОАО «Гомельский химический завод» производит аммофос с содержанием 12 % N, 50 % P_2O_5 и 0,04 % Со. В почву кобальтовые удобрения вносят в дозе 0,5–2 кг/га Со. Лучшими концентрациями кобальта для некорневой подкормки гороха является 0,05 %, сахарной свеклы — 0,02 %. Горох подкармливают в фазе 6–7 листьев, сахарную свеклу — при смыкании рядков.

Некорневую подкормку зернобобовых культур проводят в фазе 6–7 листьев 11 г Со на 1 га или 50–60 г сернокислого кобальта, картофеля, кукуруза — 10–15 г Со, свекла и кормовые корнеплоды — 17–22 г Со.

В Беларуси производятся жидкие комплексные МикроСтим-Кобальт и МикроСтим-Кобальт Бор, которые применяют под зернобобовые культуры (табл. 5.12).

Урожайность свеклы от кобальта повышается на 3,5 т, а сахаристость — на 0,8 %.

Оптимальное содержание кобальта в кормах 0,25–1 мг/кг сухого корма.

5.6.7. Марганцевые удобрения

Марганец необходим всем растениям. Среднее содержание марганца в растениях — 10 мг на 1 кг сухой массы. Вынос с урожаем разных культур составляет 1,0–4,5 кг/га. 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. Он способствует избирательному поглощению ионов из внешней среды, повышает водоудерживающую способность тканей, снижает транспирацию, влияет на плодоношение растений. Оптимальное содержание марганца в растениеводческой продукции — 40–70 мг/кг.

Марганец входит в состав следующих ферментов: малатдегидрогеназы, изоцитратдегидрогеназы, гидроксилламинредуктазы, глутаминтрансферазы, ферредоксина.

Выявлено прямое участие марганца в фотосинтезе. Установлено участие марганца в системе выделения кислорода и в восстано-

вительных реакций фотосинтеза. 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 реакций превращения ди- и трикарбонных кислот, образующихся в процессе дыхания. Предполагают, что марганец входит в состав фермента, синтезирующего аскорбиновую кислоту.

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 иммобилизуется в виде окисного органо-фосфорного железа, что ведет к проявлению симптомов его недостатка в виде хлороза листьев. Таким образом, для нормального функционирования растений требуется определенное соотношение между железом и марганцем. По результатам большого количества опытов соотношение Fe : Mn должно составлять 1,5 : 2,5. Если это соотношение меньше — проявляются патологические симптомы недостатка железа, если больше — симптомы недостатка марганца.

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. В схеме восстановления в растении нитратов до аммиака: нитрат → нитрит → гипонитрит → гидросиламин → аммиак отсутствие марганца подавляет активность гидросиламиноредуктазы, фермента, катализирующего восстановление гидросиламина до аммиака, что останавливает преобразование нитратов и подчеркивает связь этого элемента с ассимиляцией азота растениями.

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.

Недостаток марганца в дерново-подзолистых почвах растения могут испытывать при pH_{KCl} больше 6,0, что связано с переходом его в труднорастворимые соединения при реакции среды близкой к нейтральной.

В Республике Беларусь применяются следующие марганцевые удобрения.

Сульфат марганца ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) — мелкокристаллическая соль белого цвета, содержащая 22,8 % марганца. Предельная растворимость в 1 л водного раствора 380 г. Дозы некорневых подкормок сернокислым марганцем сельскохозяйственных культур приведены в табл. 5.17.

Рекомендуется применять на почвах с pH_{KCl} более 6,0 первой и второй группы обеспеченности обменным марганцем. Рекомендуется применять для некорневой подкормки озимой пшеницы и тритикале в первую подкормку (фаза начала выхода в трубку) — 220 г/га, вторую (начало колошения) — 350 г/га сернокислого марганца, для яровой пшеницы, тритикале, ячменя, овса, многолетних злаковых трав (в начале выхода в трубку), сахарная и кормовая свекла (10–12 листьев) — 250 г/га, озимый и яровой рапс (350 г/га) в фазе бутонизации.

Адоб марганец — жидкий концентрат удобрения, содержащий 15,3 % марганца в хелатной форме, 9,8 % азота и 2,8 % магния. В одном литре удобрения содержится 153 г марганца, 98 г азота и 28 г магния.

Адоб марганец используется в дозе 0,3 л/га для первой подкормки озимых зерновых культур в начале активной вегетации весной или стадии первого узла можно совместно с КАС или ретардантом и во вторую подкормку озимых пшеницы и тритикале для высокопродуктивных посевов (можно в баковой смеси с фун-

гицидами) в фазе флагового листа или колошения, а также для подкормки яровых зерновых культур в стадии первого или второго узла.

Некорневая подкормка зернобобовых культур Адоб марганцем производится в фазе бутонизации, ярового и озимого рапса — фазе начало бутонизации, льна-долгунца — в фазе «елочка», сахарной свеклы — первая в фазе 10–12 листьев, вторая — через 1–1,5 месяца после первой в дозе 0,3 л/га.

Эколист моно марганец — жидкий концентрат удобрения, содержащий 12 % марганца в хелатной форме, 6 % азота и 4,5 % серы. В одном литре удобрения содержатся 174 г марганца, 87 г азота и 50 г серы. При некорневых подкормках сельскохозяйственных культур используется в тех же дозах и в те же сроки, что и Адоб марганец. Потребность в марганцевых удобрениях для некорневых подкормок в республике 75,2 т д. в.

В Беларуси производятся жидкие комплексные удобрения МикроСтим-Марганец и МикроСтим-Медь, Марганец (табл. 5.12).

В России производится марганизированный суперфосфат с содержанием 20 % P_2O_5 и 1–2 % марганца. Применяется в основном для припосевного внесения в рядки. Доза устанавливается по фосфору.

ЭлеГум — марганец содержит 50 г/л марганца и 10 г/л гуминовых веществ. Используется для некорневых подкормок зерновых и других сельскохозяйственных культур.

5.6.8. Йодсодержащие удобрения

Содержание йода в растениях в среднем составляет 0,42 мг/кг сухой массы. Йод, участвуя непосредственно в азотном обмене и окислительно-восстановительных процессах, оказывает влияние на углеводный обмен и интенсивность фотосинтеза. Повышая общий уровень фотосинтетической активности растений, он усиливает ростовые процессы и продуктивность.

Йод может поглощаться листьями из атмосферы. Вынос его с урожаем около 10 г/га. Среднее его содержание в дерново-подзолистых почвах (в процентах) — $2,5 \cdot 10^{-4}$, торфянистых — $1,2 \cdot 10^{-4}$, в течение года с осадками попадает в почву от 9 до 50 г/га. Небольшое количество его вносится с сырыми калийными солями. Недостаток

йода в пище и воде вызывает заболевание щитовидной железы у человека.

Из йодосодержащих удобрений применяется *йодисты калий* (KI), содержащий 76 % йода. Рекомендуется применять в виде некорневых подкормок для повышения содержания йода в травяных кормах. Доза внесения во внескорневую подкормку многолетних бобовых трав (фаза стеблевания) и злаковых (фаза выхода в трубку) — 130–150 г/га йодистого калия.

5.6.9. Жидкие комплексные удобрения с микроэлементами

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве применяются жидкие комплексные удобрения, содержащие комплекс микроэлементов в хелатной форме, а также в небольших количествах макроэлементы.

В табл. 5.12 приведены зарегистрированные в Беларуси комплексные микроудобрения с регуляторами роста белорусского производства рекомендованные для некорневых подкормок и предпосевной обработке семян, а в таблице 5.19 комплексные удобрения с микроэлементами, производимые в других странах для некорневых подкормок.

Таблица 5.19. Состав комплексных удобрений с микроэлементами, %

Показатель	N	P_2O_5	K_2O	MgO	Mn	Cu	Fe	B	Zn	Mo	S
Кристалон: особый коричневый	18,0	18,0	18,0	3,0	0,04	0,01	0,07	0,025	0,025	0,004	5,0
	3,0	8,0	38,0	4,0	0,04	0,01	0,07	0,025	0,025	0,004	27,5
Басфолиар 36 экстра	36,3	—	—	4,3	1,34	0,27	0,03	0,03	0,013	0,01	—
Басфолиар 34	34,6	—	—	0,65	0,13	0,13	—	—	—	—	—
Басфолиар 12-4-6	12,0	4,0	6,0	0,2	1,0	0,2	0,01	0,02	0,01	0,005	—
Басфолиар 6-12-6	6,0	12,0	6,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,005	—
Эколист 3	10,5	—	5,1	2,5	0,05	0,45	0,07	0,38	0,19	0,0016	—
Нутривант плюс зерновой	6,0	23,0	35,0	1,0	—	0,25	0,05	0,10	0,20	0,002	—

Басфолиар 36 экстра, Басфолиар 12-4-6, Басфолиар 34 и Басфолиар 6-12-6 рекомендуется применять в дозах 4–6 л/га 2–3 раза за вегетацию. Басфолиар 36 экстра рекомендован для зерновых культур, сахарной свеклы, рапса, кукурузы, картофеля, льна, садов, овощных культур; Басфолиар 12–4–6 — для сахарной свеклы, рапса, картофеля; Басфолиар 34 — для зерновых и овощных культур, садов; Басфолиар 6–12–6 для льна, бобовых, кукурузы.

Эколист 3 предназначен для зерновых культур. Применяют под зерновые культуры 1–2 раза за вегетацию в дозе 2 л/га. Первая подкормка проводится в фазе конец кущения — начало выхода в трубку, вторая — флагового листа.

Нутривант плюс зерновой — водорастворимое комплексное удобрение с прилипателем израильского производства для зерновых культур применяют в фазе кущения и выхода в трубку в дозе по 2 кг/га.

Кристалон особый и коричневый — водорастворимые комплексные удобрения производства Нидерландов. Кристалон особый под зерновые культуры применяется в дозе 2 кг/га в фазе кущения, а коричневый — в фазе начала выхода в трубку в дозе 2 кг/га.

В опытах кафедры агрохимии УО «БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве некорневая подкормка Нутривантом плюс на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$ повышала урожайность зерна ячменя на 4,3 ц/га (с 55,5 до 59,8 ц/га), кристалоном на 5,6 ц/га (с 55,5 до 61,1 ц/га).

В Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси разработаны жидкие комплексные удобрения МикроСил и МикроСтим, которые содержат в небольшом количестве азот, а также микроэлементы и регулятор роста стимулирующего действия (табл. 5.12). Эти удобрения используются для обработки семян и некорневых подкормок.

5.6.10. 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. Заданные оптимальные уровни содержания микроэлементов в почвах создают только в тех случаях, когда почвы генетически бедны мик-

роэлементами. Однако при этом нужно соблюдать осторожность, так как избыточное содержание микроэлементов оказывает отрицательное действие на урожай и качество сельскохозяйственной продукции.

Внесение микроэлементов в почву в виде удобрений предусматривается только с комплексными удобрениями на почвах с низкой обеспеченностью этими элементами питания. Для среднеобеспеченных микроэлементными почв рекомендуются обработка семян и некорневые подкормки, на высокообеспеченных почвах или почвах с избыточным их содержанием микроэлементы не вносят.

Выпуск промышленных форм минеральных удобрений с добавками микроэлементов позволяет более равномерно распределить их по удобряемой площади и сократить расходы на внесение. 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, причем последний способ предпочтительнее.

Обработка семян микроэлементами является одним из элементов комплексной предпосевной подготовки семенного материала. Для этих целей используют сульфат цинка, борную кислоту, молибдат аммония. Обработку проводят одновременно с протравливанием. Для соблюдения санитарных требований при проведении этих работ, а также для повышения эффективности используемых средств семена обрабатывают с использованием пленкообразователя. В качестве последнего в Беларуси применяют 2%-й раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (полимер NaКМЦ).

При протравливании за два месяца до сева крупносеменных бобовых культур (люпин, горох, вика, пелюшка и др.) при влажности семян не более 12% расход NaКМЦ составляет 10 л на 1 т семян; при предпосевной обработке и если влажность зерна выше 12% — 15 л. При обработке мелкосеменных бобовых культур (клевер, люцерна и др.) расход 1%-го раствора NaКМЦ составляет 2 л на 1 ц семян. Борную кислоту и сульфат цинка растворяют при температуре 50–60 °С. Затем в раствор микроэлементов медленно вливают раствор полимера, постоянно перемешивая. Температура

растворов должна быть 20–25 °С. При более высокой температуре полимер выпадает в нерастворимый осадок.

Первостепенное значение в технологии инкрустации семян имеют вещества способные к образованию тонких сплошных слоев (пленок). В последнее время в качестве прилипателя стал широко использоваться гисинар. Гисинар сополимер натриевой соли с акриламидом.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси разработана эффективная технология обработки семян зерновых культур жидкими комплексными удобрениями МикроСтим-Медь и Адоб Медь.

При приготовлении композиционного состава с жидким комплексным микроудобрением МикроСтим-Медь в 5 л воды приливают 1,6 л жидкого комплексного микроудобрения МикроСтим-Медь. В полученный раствор добавляют 0,25 л гисинара. Далее малыми порциями добавляют протравитель в рекомендуемой дозе, тщательно перемешивают и используют для обработки 1 т семян зерновых культур.

Семенной материал обрабатывают на машинах ПС-10, КПС-10, ПС10А, «Мобитокс супер», «Хеге 11», Ребер и другие.

Некорневые подкормки посевов микроудобрениями проводят на почвах, слабо- и среднеобеспеченных микроэлементами. Для этого используют сульфат меди, сульфат цинка, борную кислоту, молибдат аммония, а также новые формы микроудобрений в хелатной и органо-минеральной форме.

При приготовлении рабочих растворов с многокомпонентными растворами микроудобрений емкость опрыскивателя заполняется водой до половины и в нее добавляют составляющие в нижеуказанной последовательности при работе опрыскивателя в режиме перемешивания:

- карбамид (при необходимости);
- растворы, неорганических солей микроэлементов или растворы, содержащие микроэлементы в форме хелатных соединений или эколест + вода — 1:4
- пестицид, разбавленный водой согласно инструкции.

Затем добавляется вода до полного объема и приступают к обработке посевов. Приготовление баковых смесей рекомендуется проводить непосредственно перед их внесением.

Для опрыскивания посевов микроэлементами используются дефлекторные распылители РД-110-4 или щелевые РЩ-110-4 и РЩ-110-2,5. При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки учитывают не только биологические особенности потребности культуры, но и погодные условия, так как время поглощения растениями микроэлементов составляет от 1–2 дней. Не рекомендуется опрыскивание проводить на сырые или покрытые росой растения и в условиях интенсивного солнечного света. Некорневые подкормки микроэлементами лучше проводить в послеобеденное время или в пасмурную погоду.

При правильном применении микроудобрений с учетом их содержания в почве урожайность зерновых культур при использовании меди повышается на 2–4 ц/га, картофеля — на 30–55, сена многолетних бобовых трав и смесей — на 3–5 ц/га. Борные удобрения повышают урожайность зернобобовых культур на 2–3 ц/га, сахарной и кормовой свеклы — на 30–40, картофеля — 25–30, семян бобовых культур на 0,5 ц/га.

Прибавка урожая от использования цинковых удобрений под зерновые культуры составляет 1–2 ц/га, сахарной и кормовой свеклы — 25–30, картофеля — 15–20, льноволокна и семян — на 0,3 ц/га. Применение молибденовых удобрений повышает урожайность зернобобовых культур на 2,5–3,5 ц, сена многолетних бобовых и травосмесей — на 4–5 ц, семян бобовых трав — на 0,3–0,5 ц/га.

5.7. Комплексные удобрения

Комплексными называются минеральные удобрения, содержащие не менее двух основных элементов питания. По составу они подразделяются на *двойные* (например, азотно-фосфорные, азотно-калийные или фосфорно-калийные) и *тройные* (азотно-фосфорно-калийные). По способу производства их делят на сложные, сложно смешанные и смешанные. Кроме того, выделяют жидкие комплексные удобрения (ЖКУ), для производства которых используют жидкие, газообразные и твердые исходные продукты и различные суспендирующие добавки.

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.).

Сложно-смешанное удобрение — продукт обработки готовых одноконпонентных и сложных удобрений аммиаком, аммиакатами и кислотами с последующей грануляцией.

В Беларуси ОАО «Гомельский химический завод» выпускают сложно-смешанные удобрения с различным соотношением элементов питания с их общим содержанием от 25 до 50 %: с содержанием $N:P_2O_5:K_2O = 16:11:20, 5:16:35, 14:17:17, 10:20:20$ и др.

Сложно-смешанные удобрения можно использовать под все культуры в основное и припосевное внесение. Однако эффективнее марку 5:16:35 применять для основного внесения под озимые зерновые культуры, лен, озимый рапс; марку 16:11:20 — под яровые зерновые культуры, картофель, сахарную свеклу, гречиху; марку 10:20:20 — при возделывании овощных культур.

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.

Смешанное минеральное удобрение — комплексное минеральное удобрение, полученное путем механического смешивания готовых порошковидных, кристаллических или гранулированных удобрений. Их получают в заводских условиях либо на тукомесительных установках в местах использования удобрения.

Комплексные удобрения имеют следующие преимущества. Они имеют высокую концентрацию элементов питания, отсутствие или небольшое содержание балластных компонентов (Na, Cl и др.), меньшие расходы на хранение, перевозку и внесение удобрений (примерно на 10 % по сравнению с простыми). Наличие в одной грануле твердых комплексных удобрений нескольких элементов питания приводит к более равномерному их распределению по поверхности почвы.

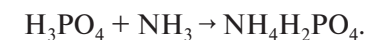
К недостатком сложных удобрений является то, что соотношение элементов питания в них зависит от химической формулы соединений и не всегда соответствует потребностям растений.

В сложно-смешанных удобрениях пропорции в соотношениях азота, фосфора и калия находятся в широких пределах и не всегда обеспечивают оптимальное количество под культуру.

В последнее время разработаны и многофункциональные минеральные удобрения, содержащие кроме главных элементов питания (микроэлементы, регуляторы роста растений и т. д.), например стимулирующие рост растений. Производятся также длительнодействующие (продолжительного срока действия), медленнодействующие удобрения, отдающие элементы питания в течение одного или нескольких вегетационных периодов. К ним относятся: полумерные, капсулированные и другие.

Сложные удобрения. *Аммофос* ($NH_4H_2PO_4$) содержит 10–12 % N и 46–52 % P_2O_5 . Сложное удобрение, мало гигроскопично, хорошо растворимо в воде. Аммофос является наиболее распространенным в Беларуси сложным удобрением. Его вносят в качестве основного удобрения и в рядки при посеве под лен, картофель, зерновые, сахарную свеклу и другие культуры. Используется аммофос и для подкормок многолетних трав и других сельскохозяйственных культур. Аммофос производят с добавками и без добавок микроэлементов. Аммофос с добавками микроэлементов был рассмотрен в разделе 5.6. Микроудобрения.

Получают путем нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком:



Нитрофоска — сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, содержащее 11 % N, 10 % P_2O_5 в усвояемой форме и 6 % — в водорастворимой, 11 % K_2O . Получают нитрофоски преимущественно способом азотнокислого и сернокислотного разложения апатита, добавлением в горячую массу хлористого калия и последующим гранулированием. Готовый 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.

Диаммонийфосфат (диаммофос) ($(NH_4)_2HPO_4$) — сложное гранулированное удобрение темно-серого цвета, неслеживающееся, содержит 19–21 % N и 35–52 % P_2O_5 в водорастворимой форме. Обладает хорошими физическими свойствами. Его можно непосред-

редственно применять под все культуры или использовать для приготовления сложно-смешанных удобрений.

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. Производится в ОАО «Беларуськалий».

Аммофосфат содержит 6 % N и 45–46 % P_2O_5 . Это новое азотно-фосфорное сложно-смешанное удобрение. Содержит фосфора около 70 % в водорастворимой форме.

Технология получения аммофосфата включает следующие стадии: разложение фосфоритов при большом избытке экстракционной фосфорной кислоты, нейтрализация аммиаком кислых продуктов (фосфатных пульп), гранулирование, сушка продукта. Аммофосфат выпускается на базе цехов по производству аммофоса с доукомплектованием их отделением разложения фосфоритов. Технология получения аммофосфата позволяет на 15 % сократить расход серной кислоты и энергоресурсов и на 2 % увеличить степень использования сырья по сравнению с аммофосом.

По результатам рентгенофазного анализа, основной фазой образцов аммофосфата является $NH_4H_2PO_4$. Кроме того, в его состав входят $CaHPO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$ и другие соединения.

По агрономической эффективности по данным кафедры агрохимии БГСХА и Института почвоведения и агрохимии аммофосфат приближается к аммофосу. Используется тоже аналогично.

Сложно-смешанные удобрения. *Нитроаммофоска* — высококонцентрированное сложно-смешанное удобрение, содержащее по 17–18 % N, P_2O_5 и K_2O . Производят путем аммонизации смесей азотной и фосфорной кислот или азотнокислотного разложения апатита, в результате которого образуется аммонийная селитра, аммофос или диаммофос (в зависимости от степени аммонизации). Раствор упаривают, добавляют соли калия, затем перемешивают, подсушивают и гранулируют. Без добавления солей калия получают *нитроаммофос*, который содержит по 23–24 % азота и фосфора. Нитроаммофоска является универсальным удобрением, пригодным как для основного, так и для припосевного внесения

под зерновые, картофель, сахарную свеклу и другие сельскохозяйственные культуры.

Азофоска — сложно-смешанное удобрение 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.

Аммонизированный суперфосфат ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + NH_4H_2PO_4$) содержит от 19 до 42 % P_2O_5 и 5–14 % N. Это сложно-смешанное удобрение производится на ОАО «Гомельский химический завод». Фосфор в этом удобрении содержится в основном в водорастворимой форме (97 % \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.

Карбоаммофоска — комплексное сложно-смешанное гранулированное удобрение, имеет хорошие физические свойства. Содержит по 19,8 % N, P_2O_5 и K_2O (возможны и другие марки). Азот содержится в аммонийной и амидной форме, фосфор — в водорастворимой. Рекомендуются под все культуры, на всех типах почвы.

Аммофосфатка — гранулированное сложно-смешанное комплексное удобрение. Содержит 4% N, 24 % P_2O_5 и 30 % K_2O . Производится в гранулированном виде. Рекомендуются для внесения под лен. Выпуск освоен на ОАО «Гомельский химический завод».

Аммофоска универсал — высокоэффективное бесхлорное сложно-смешанное комплексное удобрение, содержит 11–13 % N, по 14–16 % P_2O_5 и K_2O и 14 % S. Особенно эффективно для культур чувствительных к хлору (гречиха, картофель и другие).

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 $-17^\circ C$.

В отличие от жидкого аммиака для транспортировки, хранения и внесения ЖКУ не нужна аппаратура с высоким давлением. Применяют ЖКУ в качестве допосевного удобрения, во время сева и для подкормки, последняя, может быть и поверхностной.

Новые формы комплексных удобрений. В Республике Беларусь разработаны комплексные сложно-смешанные удобрения под конкретные сельскохозяйственные культуры с различным соотношением и содержанием элементов питания с учетом их биологических особенностей и уровня плодородия почвы. Применение таких удобрений по сравнению с односторонними, по данным Института почвоведения и агрохимии, позволяет в два раза снизить энергетические и трудовые затраты.

На ОАО «Гомельский химический завод» производятся азотно-фосфорно-калийные удобрения марок 5-16-35, 6-21-32, 16-16-16 и др.

Для льна разработаны две марки комплексных удобрений, производство которых осуществляется на ОАО «Гомельский химический завод»:

- марки NPK 6:21:32 (сумма NPK 59 %) — содержит 6 % N, 21 % P₂O₅, 32 % K₂O, 0,22 % B, 0,30 % Zn, 0,2 % Fe. Удобрение предназначено для почв с низким и средним содержанием фосфора.

- марка NPK 5:16:35 (сумма NPK 56 %) — содержит 5 % N, 16 % P₂O₅, 35 % K₂O, 0,17 % B, 0,27 % Zn. Это удобрение предназначено для почв с повышенным и высоким содержанием фосфора и низким и средним содержанием калия.

Статистическая прочность гранул, МПа (кгс/см²) — до 2 (20), рассыпчатость 100 %.

Исследования, проведенные в Институте почвоведения и агрохимии показали, что их применение обеспечивает сбалансированное питание растений льна и повышает урожайность соломы на 10 ц/га, семян — 1,5–2,0 ц/га, выход длинного волокна в среднем — на 5 ц/га. Удобрения рекомендуются в качестве основного для внесения в почву под культуру. При возделывании льна-долгунца на почвах с рН_{KCl} — 6,1–6,5 на фоне применения комплексных удобрений рекомендуются дополнительные некорневые подкормки микроэлементами и регуляторами роста растений для снижения заболеваемости льна кальциевым хлорозом.

Для озимого рапса налажено промышленное производство на ОАО «Гомельский химический завод» комплексного удобрения:

- марка NPK 7:16:30 (сумма NPK 53 %) — содержит 7 % N, 16 % P₂O₅, 30 % K₂O, 0,25 % B. Удобрение предназначено для почв

с низким и средним содержанием фосфора. Статистическая прочность гранул, МПа (кгс/см²) — до 2(20), рассыпчатость 100 %.

Рекомендуется в качестве удобрения для основного внесения. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, обеспечивает хорошую перезимовку озимого рапса и в среднем обеспечивает повышение урожайности семян на 5 ц/га с хорошими технологическими качествами.

На ОАО «Гомельский химический завод» производятся следующие комплексные удобрения для сахарной свеклы:

Содержит 13–17 % N, 8–12 % P₂O₅, 18–22 % K₂O, 5 % Na₂O, 0,1 % B, 0,20 % Mn.

Комплексные удобрения для сахарной свеклы обеспечивают сбалансированное питание растений, снижение затрат на применение (на 17–25 %), повышение урожайности на 15 — 20 % и содержание сахара в корнеплодах — на 0,5–1 % по сравнению с эквивалентом стандартных удобрений. Рекомендуется для основного внесения, возможно перед посевом или одновременно с ним.

Новые формы комплексных жидких удобрений (ЖКУ) с хелатными формами микроэлементов — для корневых и некорневых подкормок сельскохозяйственных культур производятся на ОАО «Гомельский химзавод».

Эти удобрения содержат необходимые для роста и развития растений макро- и микроэлементы в хелатной форме. Применение жидких комплексных удобрений для некорневой подкормки сельскохозяйственных культур укрепляет иммунитет растений, улучшает их сопротивляемость к заболеваниям, способствует повышению урожайности с высоким качеством продукции.

В Беларуси освоено производство следующих марок комплексных удобрений:

ЖКУ для моркови: NPK 8:4:9 (сумма NPK 21 %) — содержит 9 % N, 4 % P₂O₅, 9 % K₂O, 0,5 % B, 0,10 % Cu, 0,001 % Co;

ЖКУ для свеклы: NPK 8:3:8 (сумма NPK 19 %) — содержит 8 % N, 3 % P₂O₅, 8 % K₂O, B, Cu, Mn;

ЖКУ для капусты: NPK 8:4:9 (сумма NPK 21 %) — содержит 8 % N, 4 % P₂O₅, 9 % K₂O, B, Zn, Mo;

ЖКУ для зерновых культур: NPK 8:4:9 (сумма NPK 21 %) — содержит 8 % N, 4 % P₂O₅, 9 % K₂O, Cu, Mn;

ЖКУ для картофеля: NPK 8:4:9 (сумма NPK 21 %) — содержит 8 % N, 4 % P₂O₅, 9 % K₂O, B, Cu, Mn;

ЖКУ для льна—долгунца и льна масличного: NPK 5:7:10 (сумма NPK 22 %) — содержит 5 % N, 7 % P₂O₅, 10 % K₂O, B, Zn, Cu;

ЖКУ для бобовых: NPK 5:7:10 (сумма NPK 22 %) — содержит 5 % N, 7 % P₂O₅, 10 % K₂O, B, Mo;

ЖКУ для цветов и зеленых насаждений: NPK 6:3:8 (сумма NPK 17 %) — содержит 6 % N, 3 % P₂O₅, 8 % K₂O, B, Cu, Mn.

На ООО «Гринтур» Беларусь осуществляется промышленное производство комплексных жидких бесхлорных удобрений следующих марок:

«Калийфос — N» марка NPK 1,2:1,2:1,2 (сумма NPK 3,6 %) — содержит 1,2 % N, 1,2 % P₂O₅, 1,2 % K₂O, B, Mg, Cu, Zn;

«Калийфос — N» марка NPK 4:2:4 (сумма NPK 10 %) — содержит 4 % N, 2 % P₂O₅, 4 % K₂O, B, Mg, Cu, Zn, Fe;

«Калийфос — N» марка NPK 8:4:8 (сумма NPK 20 %) — содержит 8 % N, 4 % P₂O₅, 8 % K₂O, B, Mg, Cu, Zn, Fe.

Производство комплексных удобрений является наиболее перспективным по сравнению с простыми формами удобрений, так как позволяет существенно сократить затраты на их внесение в почву, сбалансировать минеральное питание сельскохозяйственных культур и повысить равномерность их распределения по полю. С учетом агрохимических свойств пахотных почв, а также биологических особенностей сельскохозяйственных культур к потребности Беларуси в комплексных удобрениях по расчетам РУП «Институт почвоведения и агрохимии» под все основные сельскохозяйственные культуры, включая овощи открытого грунта и многолетние травы составляет 1391,4 тыс. т д. в. или 698,7 тыс. т д. в.

Смешанные удобрения, или тукомеси, требуют меньших энергетических затрат по сравнению с отдельным внесением одноконпонентных минеральных удобрений. В них выше концентрация питательных элементов, содержащихся в оптимальном соотношении исходя из биологических особенностей выращиваемых культур. Тукомеси могут готовиться как на заводах, так и в хозяйствах. Основные требования к гранулированным удобрениям — хорошая сыпучесть, несслеживаемость туков.

ОАО «Беларуськалий» производит следующие марки комплексных удобрений:

NPK 9:25:25 (сумма NPK 59 %);

NPK 13:12:19 (сумма NPK 44 %);

NPK 13:13:21 (сумма NPK 47 %);

NPK 6:18:34 (сумма NPK 58 %);

NPK 7:20:30 (сумма NPK 57 %);

Калийфос N марка 13:7:15 (сумма NPK 35 %).

ОАО «Беларуськалий» производит и тукомеси следующих марок:

NPK 4:16:34 (сумма NPK 54 %);

NPK 5:20,5:36 (сумма NPK 61,5 %);

NPK 6:26:30 (сумма NPK 62 %).

Рекомендуются для основного внесения, возможно применение перед севом или одновременно с ним.

Качество тукомесей в значительной мере определяется соотношением в них питательных элементов. Смеси, в которых фосфор и калий (или один из этих элементов) преобладают над азотом, как правило, более сухие и сыпучие, чем смеси с одинаковым содержанием этих питательных элементов или смеси, в которых азота больше, чем фосфора и калия.

При составлении смеси надо учитывать также, вносится она в виде основного, припосевного удобрения или в качестве подкормки. От этого зависят состав, формы и дозы удобрений. Удобрения для тукомесей должны быть одинаковыми по гранулометрическому составу. Важно соблюдать правила смешивания. Не все удобрения можно смешивать друг с другом, так как в результате химических реакций могут ухудшаться их физические свойства, снизиться растворимость, происходит потеря питательных элементов.

Глава 6

ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

6.1. Органические удобрения, их виды и эффективное использование

В современном сельском хозяйстве органическим удобрениям принадлежит особая роль в сохранении почвенного плодородия на фоне повышения урожайности возделываемых культур, так как при интенсивном ведении земледелия минерализация гумуса существенно возрастает и недостаточные дозы органических удобрений могут привести к снижению почвенного плодородия. Воспроизводство плодородия почвы, создание положительного или бездефицитного баланса питательных веществ для растений и гумуса в почве — важнейшие задачи в условиях интенсивного земледелия. Добиться расширенного воспроизводства плодородия почв и систематического роста продуктивности земледелия можно при использовании органических удобрений.

Мировой опыт земледелия показывает, что чем выше культура земледелия, тем больше уделяется внимания накоплению, правильному хранению и использованию органических удобрений. 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.

В Беларуси традиционно высока роль органических удобрений, поскольку они являются незаменимым и повсеместно доступным

источником пополнения запасов гумуса и элементов питания в почве. Органические удобрения содержат питательные элементы в форме органических соединений растительного и животного происхождения. 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.

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. Им принадлежит важная роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Без их систематического применения нельзя рассчитывать на высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, особенно на песчаных и супесчаных почвах.

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.

В общем, баланс элементов питания, вносимых ежегодно в Беларуси под сельскохозяйственные культуры, на долю органических удобрений приходится около 30 % азота и калия и 50 % фосфора. 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.

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.

Органические удобрения являются источником углекислого газа, который насыщает не только почвенный воздух, но и приземный слой атмосферы. 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 почву 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 посева 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 республики для подстилки необходимо 4500 тыс. т соломы и 2860 тыс. т торфа для компостирования с полужидким навозом. В целом по республике выход подстильного навоза составляет 50 %, полужидкого — 20 %, жидкого — 30 %.

В структуре посевных площадей по Беларуси пропашные культуры в 2019 году составляли 23,4 %, многолетние травы 17,4 %, а отношение многолетние (пропашные) травы 0,7. С учетом структуры посевных площадей, по расчетам РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса на пашне составляет 62,0 млн. тонн в году или 12,5 т/га на 1 га пашни.

К наиболее распространенным органическим удобрениям в Республике Беларусь относятся следующие виды органических удобрений:

1) органические удобрения на основе отходов животноводства и птицеводства: подстильный и бесподстильный навоз, навозные стоки (навозная жижа), птичий помет;

2) удобрения из природного органического сырья: торф, сапропель, компосты (в том числе вермикомпосты);

3) зеленое удобрение и побочные продукты растениеводства: зеленое удобрение, солома;

4) удобрения на основе коммунальных и промышленных отходов: промышленные и бытовые отходы, гидролизный лигнин, осадки сточных вод.

Содержание элементов питания в органических удобрениях в зависимости от вида подстилки, типа кормления животных, метода уборки, сроков хранения и способов приготовления может изменяться в широких пределах, что обуславливает необходимость контроля за качеством удобрений и содержанием в них основных элементов питания. Средний состав органических удобрений при естественной влажности приведен в таблице 6.1.

Для перевода содержания элементов питания в органических удобрениях при естественной влажности ($\text{ЭП}_{\text{нв}}$) в содержание элементов питания в сухом веществе ($\text{ЭП}_{\text{св}}$), и наоборот, используют формулы:

$$\text{ЭП}_{\text{св}} = \frac{100 \cdot \text{ЭП}_{\text{нв}}}{\text{СВ}} ;$$

$$\text{ЭП}_{\text{нв}} = \frac{\text{ЭП}_{\text{св}} \cdot \text{СВ}}{100} ,$$

где СВ — содержание сухого вещества, %; СВ = (100 — влажность органического удобрения).

Для учета внесения различных видов органических удобрений по их способности к гумусообразованию используются следующие коэффициенты перевода в условный навоз: все виды подстильного навоза — 1; полужидкий бесподстильный навоз — 0,5; жидкий навоз — 0,2; навозные стоки — 0,06; куриный помет — 1,7; подстильный 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.

Таблица 6.1. Средний химический состав органических удобрений

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т*						
		Органическое вещество	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Соломистый навоз: крупного рогатого скота свиньи овцы лошади смешанный	75	210	5,0	2,5	6,0	4,0	1,1	0,6
	70	240	5,0	2,0	6,0	1,8	0,9	0,8
	65	300	8,0	2,5	6,5	3,3	1,8	1,5
	70	220	6,0	3,0	6,5	2,1	1,4	0,7
	75	220	5,0	2,5	6,0	3,5	1,2	1,0
Торфяной навоз: крупного рогатого скота лошади	75	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
	70	230	8,0	2,5	5,5	4,4	1,2	0,4
Полужидкий навоз: крупного рогатого скота свиньи	90	125	3,5	1,5	4,0	1,3	0,9	0,3
	90	115	4,5	2,5	3,0	1,9	1,0	0,4
Жидкий навоз: крупного рогатого скота свиньи	95	40	2,0	1,0	2,5	0,5	0,4	0,1
	95	40	2,5	0,9	1,8	0,6	0,2	0,1
Навозные стоки: крупного рогатого скота свиньи	98	18	0,7	0,4	0,7	—	—	—
	98	18	0,8	0,5	0,4	—	—	—
Птичий помет: куры утки гуси индоки смешанный	55	350	16,0	15,0	8,0	24,0	7,0	4,0
	70	250	7,0	9,0	6,0	11,0	2,0	3,0
	75	230	5,0	5,0	9,0	8,0	2,0	9,0
	75	230	7,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0
	60	320	15,0	14,0	7,0	17,0	5,0	3,0

Подстилочный помет	40	450	20,0	16,5	8,5	18,0	6,0	3,5
Птичий помет: полужидкий жидкий	85	110	9,0	9,0	3,0	9,0	4,0	2,0
	95	40	3,0	2,5	1,0	4,0	1,2	0,7
	98	18	1,2	1,1	0,6	1,8	0,5	0,3
Сухой помет	14	800	41,0	39,0	20,0	45,0	14,0	10,0
Торфонавозный компост (1:2)	70	220	5,5	1,8	4,5	4,0	0,8	0,4
Торфонавозный компост (1:3)	70	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
Торфожижевый компост	75	200	5,0	1,0	3,0	3,0	0,5	0,3
Торфопометный компост (1:1)	70	250	10,0	8,0	3,0	9,0	3,0	1,5
Торфопометный компост (1:2)	70	250	12,5	10,0	4,0	10,0	4,0	2,0
Торфофекальный компост	70	240	6,5	3,0	4,0	3,5	0,6	0,3
Костра льна + навоз бесподстилочный	72	200	4,7	2,0	7,3	4,0	0,8	0,3
Лигнинонавозный компост (1:1)	60	220	5,3	2,8	6,8	7,0	3,5	10,0
Лигнинопометный компост (1:1)	55	240	5,4	5,4	2,4	9,0	3,5	12,5
Смешанный (сборный) компост	70	200	5,0	2,0	4,5	4,0	0,8	0,4
Вермикомпост (биогуmus)	50	425	20,0	15,0	10,0	—	—	—
Сапропелевые удобрения	60	—	8,0	1,0	0,5	—	—	—

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Торф: низинный переходный верховой	60	350	10,0	1,2	0,7	15,0	—	—
	60	370	6,5	0,6	0,5	4,8	—	—
	60	385	4,0	0,4	0,3	1,2	—	—
Зеленое удобрение: бобовые крестоцветные злаковые смесь	80	140	5,0	1,1	3,0	3,0	1,4	0,9
	80	140	4,0	1,3	3,8	2,0	1,0	0,7
	80	140	3,5	1,2	2,8	1,0	0,4	0,2
	80	140	4,2	1,2	3,2	2,0	1,0	0,5
Солома: зерновые зернобобовые крестоцветные крупяные кукуруза	16	800	4,0	1,5	10,0	2,0	1,0	1,5
	16	780	10,0	2,0	11,0	9,0	2,0	5,0
	16	780	5,0	1,5	9,0	8,0	2,0	4,0
	16	800	7,0	3,0	12,5	5,0	2,0	1,0
	16	850	4,5	2,0	12,0	3,0	2,0	2,0
Ботва: сахарная свекла кормовая свекла картофель	80	120	3,5	1,0	5,0	1,0	1,0	0,4
	80	120	4,0	1,0	6,0	2,0	1,0	0,4
	80	120	2,0	0,5	4,0	1,5	1,0	0,3

* Содержание элементов питания в % = содержание в кг/т делим на 10 (например, 5 кг/т = 0,5 %).

Правильный учет применения органических удобрений позволяет грамотно распорядиться имеющимися ресурсами органических и минеральных удобрений, прогнозировать на перспективу продуктивность сельскохозяйственных культур и динамику почвенного плодородия, в первую очередь содержание гумуса.

6.2. Дозы и сроки применения органических удобрений

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.

Средневзвешенное содержание гумуса в почвах пахотных земель в Беларуси по результатам обследования 2017–2020 гг. составляет 2,26 %. Доля почв с содержанием гумуса 1,5 и менее в республике составляет 9,9 %, а 1,51–2,0 % — 27,6 %.

Для того чтобы повысить содержание гумуса в 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 (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Дозы органических удобрений, которые необходимо внести для сдвига содержания гумуса на 0,01 %

Удобрение	Влажность, %	Из 1 т удобрения образуется гумуса, кг	Необходимо внести для сдвига содержания гумуса на 0,01 %, т
Соломистый навоз	75	40	8,1
Полужидкий навоз	90	20	16,3
Жидкий навоз	95	8	40,6
Навозные стоки	98	2,4	135,4
Куриный помет	55	68	4,8
Солома	16	146	2,2

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 республики. В этих условиях усиливается необходимость расшире-

ния площадей под посевы многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей и сокращения пропашных культур в структуре посевов.

Дозы внесения органических удобрений зависят от гранулометрического состава почвы (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Дозы органических удобрений для разных разновидностей дерново-подзолистых почв, т/га

Почвы	Образуются гумуса из 1 т навоза, кг	Для восстановления минерализованного гумуса при удельном весе пропашных культур в севообороте, %			Для увеличения гумуса при его содержании в почве, %			
		10	20	30	до 1,5	1,51–2,0	2,01–2,5	более 2,5
Суглинистые	50	10	11	12	3,0	2,0	1,0	0,5
Супесчаные, подстилаемые мореной	45	12,0	12,5	13,0	3,4	2,3	1,2	0,6
Супесчаные, подстилаемые песками	40	13	14	15	3,8	2,6	1,4	
Пески	35	15	16	18	4,3	3,0	1,7	

Органические удобрения применяют в первую очередь при возделывании картофеля, кукурузы, сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, овощных и плодово-ягодных культур, озимых зерновых культур, однолетних и многолетних трав, на луговых землях (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Средние дозы органических удобрений под сельскохозяйственные культуры

Культура	Подстильный навоз или компост, т/га	Жидкий навоз, кг/га азота	
		крупного рогатого скота	свиньи
Картофель столовый	40–50	–	–
Картофель фуражный	50–70	140–200	110–150
Сахарная свекла	60–70	–	–
Кормовые корнеплоды	70–80	200–250	150–180
Кукуруза	70–80	200–250	150–180

Окончание табл. 6.4

Культура	Подстильный навоз или компост, т/га	Жидкий навоз, кг/га азота	
		крупного рогатого скота	свиньи
Овощные культуры	20–80	–	–
Озимые зерновые	30–40	–	–
Однолетние травы	30–40	80–100	60–80
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травы: при перезалужении при подкормке	30–40 –	80–100 150–250	60–80 130–180
Луговые земли	–	140–200	110–150

Из подстильного навоза в год внесения используется 20–25 % азота, 25–30 % фосфора и 50–60 % калия; из бесподстильного — 30–50 % азота, 30–40 % фосфора и 50–65 % калия. На второй год из подстильного навоза используется 20 % азота, 10–15 % фосфора и 10–15 % калия; из бесподстильного — соответственно 15–20 % азота и 10 % фосфора и калия. На третий год из подстильного навоза используется только 10,5 % азота. Среднее потребление элементов питания из основных видов органических удобрений приведено в табл. 6.4.

Дозы минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры корректируются с учетом поступления азота, фосфора и калия с органическими удобрениями. Внесение органических удобрений в рекомендуемых дозах имеет высокую агрономическую эффективность: нормативная прибавка от 1 т навоза для озимых зерновых составляет — 25 кг зерна, картофеля — 105 кг клубней, сахарной свеклы — 125 кг корнеплодов, кормовых корнеплодов — 200 кг корней, кукуруза на силос — 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне — 30 к. ед.

Главное условие эффективного использования органических удобрений — равномерное их внесение в оптимальные сроки и своевременная заделка в почву. При разбрасывании навоза без заделки за 4 ч потери аммиачного азота могут достигать 55 %, за 12 ч — 65 %, за 24 ч — 70 %, за 48 ч — 80 %.

Основным сроком применения подстильного навоза и компостов на связных почвах при возделывании пропашных культур является осеннее внесение под зяблевую вспашку. Правильно за-

буртованные навоз и компосты к осени хорошо вызревают, в них погибает большинство возбудителей болезней и семян сорных растений. Следует также учитывать, что основная масса питательных веществ органических удобрений становится доступной для питания растений только после минерализации. Весной сроки внесения органических удобрений затягиваются из-за переувлажнения почвы, напряженного графика весеннего сева и других полевых работ; происходит переуплотнение почвы; для заделки органических удобрений требуются дополнительные обработки почвы.

В системе удобрения озимых зерновых культур органические удобрения вносят под вспашку непосредственно под озимые зерновые или под предшественник в занятом пару.

Жидкие органические удобрения применяют в основном внесение под вспашку или культивацию осенью, под культивацию весной, а также для подкормок по фазам роста и развития растений. Доза жидкого удобрения устанавливается исходя из содержания в нем азота.

Зеленое удобрение в зависимости от типа использования (полное, отавное, укосное) запахивается осенью до наступления заморозков. Озимые сидеральные культуры запахиваются весной следующего года. При использовании на зеленое удобрение промежуточных культур их посев после уборки основных зерновых и зернобобовых культур производится в срок до 15 августа.

Дополнительным резервом органических удобрений является солома, применение которой повышает плодородие пахотных земель и поддерживает бездефицитный баланс гумуса и питательных элементов.

Традиционными способами подготовки соломы к использованию на удобрение являются получение подстилочного навоза, а также производство компостов, где солома служит одним из компонентов и хорошим влагопоглощающим материалом для бесподстилочного навоза и помета.

Наряду с соломой в качестве дополнительного источника органического вещества может использоваться ботва картофеля, сахарной свеклы и кормовых корнеплодов, которая после уборки товарной продукции подвяливается, равномерно распределяется по полю и заделывается в почву.

6.3. Подстилочный навоз

Подстилочный навоз — основное органическое удобрение. Это смесь твердых и жидких экскрементов животных и подстилки.

Выход навоза, его химический состав и удобрительная ценность зависят от вида животных, типа кормления, количества и вида подстилки (солома, торф), способа хранения, степени разложения (табл. 6.5).

Таблица 6.5. Виды органических удобрений и потребление из них элементов питания

Виды удобрения	Потребление из 1 т								
	первый год						второй год		
	кг			г			кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Cu	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Соломистый навоз крупного рогатого скота	0,90	0,50	2,00	0,5	0,7	5,4	0,50	0,15	0,48
Торфяной навоз крупного рогатого скота	0,68	0,41	1,60	0,6	0,5	3,6	0,42	0,11	0,38
Полужидкий навоз крупного рогатого скота	0,80	0,42	2,00	0,6	0,7	3,0	0,40	0,11	0,34
Жидкий навоз крупного рогатого скота	0,55	0,32	1,57	0,4	0,5	1,9	0,27	0,10	0,26
Соломистый навоз свиной	0,84	0,70	2,24	0,9	0,9	7,8	0,42	0,30	0,53
Полужидкий навоз свиной	0,72	0,25	1,65	0,9	1,2	12,8	0,35	0,11	0,25
Жидкий навоз свиной	0,60	0,22	1,00	0,6	0,7	8,0	0,29	0,10	0,15
Навозные стоки	0,15	0,15	0,40	0,2	0,2	0,8	0,04	0,08	0,13
Торфонавозный компост (1:1)	0,70	0,35	1,80	0,6	0,4	2,0	0,30	0,14	0,29
Торфонавозный компост (1:2)	0,40	0,27	0,74	0,9	0,7	2,0	0,30	0,14	0,29
Навоз лошадей	1,04	0,77	2,75	—	—	—	0,70	0,33	0,66
Навоз овец	2,07	0,60	2,80	1,9	2,9	6,0	0,82	0,24	0,60
Птичий помет	3,28	4,00	2,75	1,1	0,4	19,5	1,64	1,95	0,66
Торфопометный компост (1:1)	2,04	2,05	1,50	1,2	0,5	10,8	1,02	0,98	0,30
Торфопометный компост (1:2)	2,44	2,50	1,50	1,1	0,5	13,8	1,22	1,20	0,30
Сапропели органические	0,50	0,22	0,75	2,4	1,9	30,0	0,27	0,09	0,18
Зеленое удобрение	1,35	0,25	0,85	—	—	—	0,46	0,12	0,17

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. 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. В навозе лошадей и овец меньше воды и больше органического вещества, а также азота и фосфора, чем в навозе крупного рогатого скота и свиней.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по химическому составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях содержится больше азота (0,4–1,9 %) и калия (0,5–2,3 %), чем в твердых (соответственно 0,3–0,6 и 0,1–0,3 %), а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях (0,17–0,41 %), чем в жидких (0,07–0,1 %). 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. 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. 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.

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.

Если исходить из того, что сухое вещество корма наполовину усваивается животными и половина его переходит в навоз, а под-

стилка поглощает жидкие выделения в соотношении 1:4, то выход навоза (Н) можно подсчитать по формуле:

$$H = 4 (K/2 + П),$$

где К — сухое вещество корма; П — вес подстилки.

Выход навоза рассчитывают также по формуле $H = 2 (K + П)$.

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. 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.

Количество навоза, хранящегося в штабеле, можно определить, зная объем штабеля (произведение длины, ширины и высоты в кубических метрах) и плотность навоза (1 м³ свежего навоза весит 400 кг, уплотненного — 700, полуперепревшего — 800, сильно разложившегося — 900 кг.).

В зависимости от способа и продолжительности хранения навоз получается различной степени разложения: свежий навоз; слабо-разложившийся — 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 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.

Доводить удобрение до перепревшего состояния и перегной нерационально, так как при этом в 2–3 раза уменьшается содержание органического вещества. В перепревшем навозе и перегное относительное (процентное) содержание азота, фосфора и калия выше, чем в полуперепревшем.

Лучшим является полупревший навоз. Содержание элементов питания в подстилочном навозе от различных животных и использование из него питательных веществ приведено в табл. 1 и 5.

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. 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, режу — 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. 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.

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. 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. Химический состав подстилок приведен в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Химический состав подстилок (% сухого вещества)

Вид подстилки	Вода	Азот	Фосфор	Калий	Кальций
Солома озимой ржи	14,0	0,45	0,26	1,00	0,29
Торф:	50	0,60	0,04	0,05	0,15
верховой	60	0,90	0,05	0,04	1,10
низинный					
Опилки	30	0,04	0,02	0,04	—
Листья древесные	14	1,10	0,25	0,30	2,00

Хранение навоза. В экскрементах животных и подстилке содержится много углеводов. Сахара, крахмал, пектин, органические кислоты легко разлагаются, вследствие чего температура навоза повышается до 60 °С. 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.

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. Свежий навоз становится полуперепревшим через 3–5 месяцев после закладки штабеля в зимний период. Потери азота при таком способе хранения сравнительно небольшие. В навозе, хранившемся плотным способом, содержится значительное количество аммонийного азота. Эффективность его гораздо выше, чем при других способах хранения.

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 (табл. 6.7).

Таблица 6.7. Потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза, % от содержания веществ в свежем навозе

Способ хранения	Соломенная подстилка		Торфяная подстилка	
	органическое вещество	азот	органическое вещество	азот
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Рыхлоплотный	24,6	21,6	32,9	17,0
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

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.

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. При горячее-прессованном 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 месяца в весенне-летнее время и за 3–4 месяца зимой. В процессе разложения навоза микроорганизмами под действием образующегося CO₂ и органических кислот фосфор фосфоритной муки переходит в доступную для растений форму. Одновременно

происходит связывание выделяющегося из навоза аммиака с образованием $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, и потери его сокращаются.

При этом на отведенных площадках настилают торф или резаную солому слоем. Подстилка под скотом равномерно перемешивается с экскрементами животных и уплотняется. По мере переувлажнения верхнего слоя добавляют небольшие порции новой подстилки. Такой навоз убирают один-два раза в год и укладывают в уплотненные штабеля или сразу вносят в почву.

Хранение навоза в поле. Ежегодно около 70 % накапливаемого в хозяйствах навоза вывозят зимой, так как в это время более свободен транспорт. Однако вывезти 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:

$$P = 10\,000 \cdot G / ДШ,$$

где G — 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

$$P_{ш} = В \cdot Ш / G,$$

где $В$ — вес штабеля, т; $Ш$ — ширина разбрасывания навоза, м; G — грузоподъемность навозоразбрасывателя, т.

При хранении навоза в уплотненных штабелях из него меньше теряется азота и органического вещества, больше накапливается

и сохраняется аммиачного азота. Снижению потерь питательных элементов при хранении навоза способствуют большое количество подстилки, холодный (плотный) способ хранения навоза.

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 тальными 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.

Хранение навоза в навозохранилище. 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. Примерная площадь на одно животное для хранения навоза в течение 2,5–3 месяцев следующая (в м^2): крупный рогатый скот — 2–2,5, молодой крупный рогатый скот — 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 месяцев (около 300 т), имеет объем около 100 м^3 .

Навоз в навозохранилище надо укладывать вдоль длинной стороны большими правильными штабелями шириной 2–3 м, тесно примыкающими друг к другу. При такой укладке потери азота меньше и навоз разделяется по степени разложения: в одной стороне навозохранилища навоз более разложившийся, в другой — менее. Штабеля покрывают сверху торфом или соломой слоем 15–20 см.

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 м³ на каждые 100 т навоза. Площадка должна быть ровной, на возвышенном месте, желательна обнесенная деревьями. Для сбора жижи устраивают колодец на расстоянии 1,5–2 м от навозохранилища. 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.

Усвоение растениями азота обычно в первый год составляет 25–30 %, 20–25 % фосфора 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.

Подстилочный 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.

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. С повышением насыщения севооборота пропашными культурами оплата навоза дополнительным урожаем возрастает.

Дозы навоза зависят от почвенно-климатических условий и биологических особенностей культуры (табл. 6.4). 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. 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.

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.

Под озимые 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 последствием удобрения.

Вносят подстилочный навоз на поля навозоразбрасывателями и в тот же день заделывают в почву, так как незапаханный в течение 4 ч навоз теряет до 50 % аммиачного азота, за 12 ч — 65, за 24 ч — 70, за 48 ч — 80 %. Глубина заделки навоза зависит от возделываемой культуры, гранулометрического состава почвы, погодных условий и составляет под вспашку от 15 до 25 см. 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.

Состав, хранение и использование навозной жижи. Навозная жижа — ценное быстродействующее удобрение. Содержание питательных веществ в ней различно (табл. 6.8). 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 %.

Таблица 6.8. Содержание питательных веществ в навозной жиже

Образцы навозной жижи из жижесборников	Количество образцов	Среднее содержание, %		
		азота (N)	калия (K ₂ O)	фосфора (P ₂ O ₃)
При молочно-товарных фермах	63	0,26	0,38	0,12
При свиноводческих	12	0,31	0,36	0,06
При конюшнях	18	0,39	0,58	0,08

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 — мочевина, мочева и гипуровая кислоты, которые под влиянием уробактерий быстро превращаются в углекислый аммоний, легко распадающийся на углекислоту и аммиак.

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 жижесборников на скотных дворах и при навозохранилищах, добавление к ней суперфосфата (3–5 %).

Во избежание потерь аммиака при хранении навозной жижи жижесборники должны плотно закрываться. На скотных дворах, где нет жижесборников, 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.

Лучший способ использования навозной жижи — приготовление из нее различных компостов. Готовить их можно начиная с теплых мартовских дней и до самой осени.

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. Этот

прием позволяет равномерно распределять жижу по удобряемой площади, уменьшать потери азота, а также избегать ожогов растений. После подкормки озимые немедленно боронуют.

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. Нужно помнить, что навозная жижа — азотно-калийное удобрение, поэтому добавление к ней фосфорных удобрений существенно повышает ее эффективность.

6.4. Бесподстильный навоз

На крупных специализированных фермах и животноводческих комплексах применяют бесподстильное содержание животных, при котором получается бесподстильный навоз — подвижная смесь кала, мочи и технологической воды (попадающей в навоз при уборке помещения, мытье кормушек, из автопоилок). 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.

Бесподстильный 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).

Из кормов в него переходят в среднем 50–80 % азота, 60–80 — фосфора, 80–95 — калия, до 90 — кальция, 60 % органического вещества. Отношение C:N в бесподстильном навозе колеблется от 5:1 до 10:1.

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.

При одинаковой влажности перемешанный бесподстильный навоз свиней содержит, как правило, больше азота и фосфора и примерно в 1,5–2 раза меньше калия, чем навоз крупного рогатого скота. При скармливании животным концентрированных кормов

в навозе выше содержание питательных элементов. При фракционировании навоза в жидкую фракцию переходит не менее 70 % фосфора, 80 — азота и 90 % калия.

Содержание элементов питания в бесподстилочном навозе крупного рогатого скота и свиней приведено в табл. 6.1.

В бесподстилочном навозе от 50 до 70 % азота находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям сразу после внесения. Поэтому коэффициент использования азота бесподстилочного навоза и действие его на урожай в год внесения выше, чем подстилочного навоза, а последствие, наоборот, слабое. Фосфор и калий навоза растения используют не хуже, чем из минеральных удобрений. В первый год из бесподстилочного навоза используется 30–50 % азота, 30–35 % фосфора и 60–70 % калия. Потребление элементов питания из бесподстилочного навоза приведено в табл. 6.5.

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).

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 объемом 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.

Количество полужидкого навоза по комплексу ($N_{пж.}$) за стойловый период рассчитывают по формуле:

$$N_{пж.} = [(K + M) \cdot D_c \cdot Ч_c] : 1000 \text{ (м}^3\text{)},$$

где K и M — 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.

Для расчета выхода органических удобрений по хозяйству бесподстилочный навоз с помощью коэффициентов переводится в

условный навоз влажностью 75 % (25 % сухого вещества). Коэффициент пересчета (K) устанавливается по формуле:

$$K = (100 - V_{\text{факт}}) : (100 - V_{\text{усл}}),$$

где $V_{\text{факт}}$ — фактическая влажность, %; $V_{\text{усл}}$ — условная влажность (75 %).

Например, при фактической влажности навоза 95 % $K = (100 - 95) : (100 - 75) = 5 : 25 = 0,2$. Если влажность бесподстилочного навоза не определяется, можно пользоваться следующими коэффициентами пересчета в условный навоз: полужидкий — 0,5, жидкий — 0,2, навозные стоки — 0,06.

Хранение и применение бесподстилочного навоза. 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. Как прифермские, так и полевые навозохранилища должны быть надежно гидроизолированы, в противном случае они будут источниками загрязнения грунтовых вод и водоемов. 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 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.

Внесение бесподстилочного навоза на поля может проводиться по следующим технологическим схемам, предусматрива-

ющим строительство как прифермских, так и полевых навозохранилищ:

- 1) прифермское навозохранилище — цистерна — полевое навозохранилище — цистерна-разбрасыватель — поле;
- 2) прифермское навозохранилище — трубопровод — полевое навозохранилище (гидрант) — цистерна-разбрасыватель — поле;
- 3) навозохранилище — трубопроводная сеть — дождевальная установка — цистерна разбрасыватель — поле;
- 4) разделение навоза на твердую и жидкую фракции. Первая вносится как и подстильный навоз, вторая — по одной из трех первых схем, но чаще с помощью дождевальных установок.

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 трубам 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.

Согласно *4-й схеме* на животноводческих комплексах жидкий навоз может разделяться на твердую и жидкую фракции. Первая ис-

пользуется 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). Твердая фракция бесподстильного навоза по удобрительным свойствам близка к подстильному навозу. Твердую фракцию, имеющую влажность 65–67 %, укладывают в штабеля и используют для удобрения так же, как и подстильный навоз.

В структуре органических удобрений большой удельный вес занимает жидкий и полужидкий навоз, в котором соотношение углерода и азота неблагоприятно для накопления гумуса в почве. 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 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.

Дозы внесения жидкого навоза под сельскохозяйственные культуры определяются по азоту (табл. 6.4). 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. За счет бесподстильного 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.

Бесподстильный 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 заделывать в почву.

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 скармливания зеленой массы.

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 бесподстильного навоза — компостирование его с торфом, соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т ее берут 3–4 т бесподстильного 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 бесподстильного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур не менее сильное, чем подстильного, а в первый год после внесения даже выше, так как бесподстильный навоз снабжает растения в основном азотом, а подстильный — калием. Из жидкого навоза культуры используют азота в два раза больше, чем из подстильного, а фосфора и калия примерно на 10%.

Внесение больших доз бесподстильного навоза чревато повышением содержания нитратов в растениях, особенно в ранние фазы их развития.

Навозные стоки образуются при разбавлении экскрементов технологической водой, например при гидросмыве. Они содер-

жат 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. Содержание элементов питания в навозных стоках от различных видов животных приведено в табл. 6.1. 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.

Главное условие эффективного использования бесподстильного навоза — равномерное внесение и *своевременная заделка* в почву.

6.5. Птичий помет

Птичий помет — ценное быстродействующее органическое удобрение. В зависимости от особенностей технологии выращивания птицы помет может быть *подстильный* — при содержании птицы на глубокой несменяемой подстилке и *бесподстильный* — при клеточном содержании кур-несушек. Химический состав помета зависит от вида птицы, возраста, типа кормления и содержания птицы.

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.

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.

При производстве подстильного помета используют различные органические материалы: торф, измельченную мякину, дре-

весные 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.

Влажность подстилочного помета колеблется от 30 до 50 %. На более высокого качества пометное удобрение получают на основе торфа и соломы, используемых в качестве подстилки (табл. 6.9).

Таблица 6.9. Состав различных видов подстилочного помета при 40%-й влажности (% на сырое вещество)

Вид подстилки	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Торф	2,22	2,00	0,78
Опилки	1,60	1,40	0,62
Торф и солома	2,15	1,65	0,68
Солома	2,10	1,60	0,85

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.

Бесподстилочный куриный помет представляет собой липкую мажущую массу, его химический состав зависит от влажности (табл. 6.1)

Свежий бесподстилочный помет, который еще не содержит аммонийного азота, можно подвергнуть быстрой сушке на сушильных установках при температуре 600–800 °С. Из 1 т сырого помета получается 300–350 кг гранулированного или порошкообразного концентрированного органического удобрения имеющего следующий химический состав: массовая доля влаги — 24 %, рН_{KCl} — 5,97, зольность — 17 %, массовая доля органического вещества (в пересчете на углерод) — 41 %, массовая доля общего азота (в пересчете на сухое вещество) — 6,1 %, массовая доля общего фосфора (в пересчете на сухое вещество) — 5,8 %, массовая доля общего калия (в пересчете на сухое вещество) — 3,9 %. 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 % NH₄) и 4,0 % (0,5 % NH₄), калия — 10,3 и 4,99 и фосфора — 3,15 и 3,5.

Химический состав помета от различных видов птицы, подстилочного помета, полужидкого, жидкого, пометных стоков приведен в табл. 6.1.

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.

Пометные удобрения целесообразно использовать в первую очередь под пропашные, затем под озимые и травы в качестве основного удобрения и в подкормки (табл. 6.10). В районах достаточного увлажнения помет и его компосты можно заделывать дисковыми орудиями и культиваторами, на песчаных и супесчаных почвах более эффективно запахивание компостов. Заделку органических удобрений, в том числе и пометных компостов, хорошо проводить плугами при однократном внесении удобрений на ряд лет севооборота.

Таблица 6.10. Примерные дозы внесения пометных удобрений под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых почвах, т/га

Культура	Помет			Компост
	сухой	естественная влажность	подстилочный	
Озимые зерновые	3–4	13–15	10–15	20–25
Яровые зерновые	3	8–10	10–15	20–25
Картофель	4–5	15–20	20–25	40–50
Кукуруза на силос	4–5	15–20	15–20	40–60
Кормовые корнеплоды	4–5	15–20	15–20	30–50
Овощные	6–8	20–25	20–25	40–60
Однолетние травы	—	—	12–15	20–30
Многолетние травы	5–8	10–15	—	—

Вносится 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).

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 культур. По действию на урожай сельскохозяйственных культур, качество продукции помет ближе к минеральным удобрениям, чем к навозу, а в последствии — к навозу.

6.6. Эффлюент

Биогазовые технологии является относительным новшеством для Беларуси. В основе процесса производства из органических отходов растительного и животного происхождения лежит анаэробное (метановое) сбраживание, т. е. преобразование органических отходов в биогаз с помощью микроорганизмов. Метановое брожение представляет многоступенчатый процесс разложения смеси разных органических отходов в анаэробных условиях действием консорциума микроорганизмов с образованием метана и углекислоты в качестве конечных продуктов и сброженный навозной массы — эффлюента.

Состав эффлюента зависит от химического состава исходного навоза и другого используемого сырья. Эффлюент на основе птичьего помета имеет влажность 45 %, содержание органического вещества 30 кг/т, азота 7,0, P_2O_5 3,5 и K_2O 4,1 кг/т, свиного навоза — влажность 95 %, содержание органического вещества 40 кг/т, азота — 4 кг/т, P_2O_5 — 1,7 и K_2O — 2 кг/т, навоза КРС — влажность 95 %, содержание органического вещества 35 кг/т, N — 4 кг/т, P_2O_5 — 1,3 и K_2O — 3 кг/т.

Важной особенностью эффлюента является значительное сокращение в нем личинок и яиц гельминтов, а также других патогенов в результате воздействия мезофильного режима анаэробного брожения.

В эффлюенте основное количество азота, фосфора и калия находится в доступной для растений форме. Рациональные дозы эффлюента под зерновые — 40 т/га, картофель — 40–50 т/га, кукурузу — 60 т/га. В результате исследований в РУП «Институт почвоведения и агрохимии», действия его аналогично на урожайность традиционным видам органических удобрений.

6.7. Торф

Торф в природе образуется в результате неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности и недостаточного доступа воздуха. В Беларуси 4,5 млрд т запасов торфа, в том числе 1,3 млрд т эксплуатационных, 1,3 млн га торфяников находится в сельскохозяйственном пользовании. Ограниченные запасы торфа делают актуальным его рациональное использование. 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*.

Вид торфа определяют растения-торфообразователи, от которых и зависят его свойства (зольность, кислотность, влагоемкость, степень разложения и т.д.). Торфяные болота в зависимости от условий образования и характера преобладающей растительности делят на три типа: верховые, низинные и переходные.

Торф различных типов болот различается по агрохимическим свойствам и качеству. Верховой торф образуется на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пушицы и других растений, не требовательных к элементам питания и влаге. Низинный торф образуется в пониженных частях рельефа из гипновых мхов, травянистых, древесных и других влаголюбивых и требовательных к питательным элементам растений. Переходный торф по своим свойствам занимает промежуточное положение между верховым и низинным.

Степень разложения торфа устанавливают при проведении специальных анализов (центрифугированием или под микроскопом): степень разложения до 20 % гумусовых веществ принято считать низкой, от 20 до 40 — средней и свыше 40 — высокой. 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 2–3 % азота в минеральной форме ((аммонийной и нитратной). Фосфор также в основном присутствует в органической форме, а в минеральных соединениях он связан с кальцием, алюминием. Химический состав разных типов торфа приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11. Химический состав различных типов нормально-зольного торфа

Торф	рН _{KCl}	Содержание, % абсолютно сухого вещества					
		Органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Зола
Верховой	2,8–3,5	95–98	0,8–1,2	0,06–0,12	0,05–0,1	0,2–0,4	2–5
Низинный	4,7–5,5	85–92	2,3–3,3	0,12–0,5	0,1–0,20	2,0–6,0	8–18
Переходный	3,5–4,7	90–95	1,0–2,3	0,1–0,2	0,10–0,15	0,4–2,0	5–8

Торф с содержанием вивианита $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (28,3 % P₂O₅), встречающийся в некоторых месторождениях, можно использовать в качестве удобрения без компостирования, устанавливая дозу внесения по фосфору. Органическое вещество торфа очень устойчиво к микробиологическому разложению, минерализация органических соединений азота происходит крайне медленно, поэтому его лучше использовать для приготовления компостов.

Эффективность торфа как удобрения зависит от скорости разложения органического вещества. Активизируют эти процессы навоз, навозная жижа, фекалии, минеральные удобрения (фосфоритной мукой), известь, зола, температурный фактор. Поэтому эф-

фективность торфа при внесении в чистом виде 3–5 раз ниже, чем при его компостировании.

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.

Верховой торф используется исключительно на подстилку скоту. Удобрительная ценность торфяного навоза выше, чем торфонавозного компоста.

Расчеты показывают, что разведанные извлекаемые запасы торфа, при нынешних масштабах добычи могут исчерпаться в течение жизни одного-двух поколений людей. В восьми районах республики запасы торфа уже исчерпаны, в 65 районах крупных месторождений торфа, пригодных для строительства производственных торфоучастков нет.

6.8. Компосты

6.8.1. Торфонавозные, торфожижевые, торфопометные, смешанные и другие

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. 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.

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. Компостирование позволяет более полно использовать природные, бытовые и промышленные источники органического сырья, уве-

личить 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.

Правильно приготовленные компосты по удобрительной ценности не уступают навозу.

В соответствии *торфонавозные компосты* 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.

Готовят компосты очаговым, послойным, площадочным, цеховым и другими способами.

Очаговый способ пригоден для зимнего компостирования при температурах до -20°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 месяца.

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.

Площадочным способом пользуются при температуре не ниже -5°C . На торфяную подушку слоем 20–30 см равномерно укладывают навоз. Затем бульдозером (на площадках с твердым покрытием)

ем) или тяжелой дисковой бороной (на грунтовых площадках) их перемешивают и сгребают массу для хранения на месте или вывозят в поле, где складывают в бурты.

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 борты), а также устройства для сбора и отвода ливневых вод.

Цеховым способом — круглогодично (в цехе) приготавливают смеси (компосты) смесителями РСП-10, ПРТ-10 и ПРТ-16.

В зависимости от компонентов компосты бывают торфонавозные, торфожижевые, торфопометные, навозолигнинные, компосты из бытовых отходов и сборные.

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. Благодаря высокой поглотительной способности торф полностью связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, при этом потери азота из навоза резко уменьшаются.

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.

В торфонавозных компостах в среднем содержится 0,6–3,5 % азота, 0,2–1 — фосфора, 0,6–1,5 % — калия. В торфонавозном компосте в 1 тонне при соотношении 1:1 содержится 5,0 кг N, 1,6 кг P_2O_5 и 4,0 кг K_2O , а при соотношении 1:2 — 5,5 кг N, 1,8 кг P_2O_5 и 4,5 кг K_2O .

Дозы торфонавозных компостов приведены в таблице 6.11.

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.

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.

Аналогично можно заготовить компосты из торфа и жидкого навоза с соотношением 1:1 или 2:1.

Торфожижевые компосты можно вносить через 1–1,5 месяца после закладки. По эффективности они не уступают навозу.

Хорошо разложившийся торф, смешанный с навозной жижей или жидким навозом, можно сразу вносить в почву без компостирования.

Торфопометные компосты по эффективности не уступают подстилочному навозу, а в отдельных случаях его превосходят.

Торфопометные компосты готовят на птицефабрике или непосредственно в хозяйстве в соотношении 1:1 или 1:2. В качестве дополнительных компонентов могут использоваться опилки (3 части помета и 2 части опилок). Компост созревает от трех месяцев до двух лет в зависимости от температуры, влажности, условий аэрации и др. Очень медленно разлагаются опилки. Особенно хвойных деревьев. Содержит торфопометный компост в 1 тонне при соотношении 1:1 10,0 кг N, 8,0 кг P₂O₅ и 3,0 кг K₂O, а при соотношении 1:2 — 12,5 кг N, 10 кг P₂O₅ и 4,5 кг K₂O (табл. 6.11)

Торфоминеральные компосты готовят из расчета 1 т торфа (рН меньше 5) и 25–50 кг золы или доломитовой муки (1–3 % массы торфа). Через 15–20 см слой торфа пересыпается одним из минеральных компонентов.

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 месяца. 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.

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. 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.

Лигнин и продукты на его основе при использовании в качестве органических удобрений улучшают структуру почв. Обладая высокой поглотительной способностью, лигнин предупреждает вымывание питательных элементов, повышая тем самым эффективность минеральных удобрений.

Перспективно использование лигнина как микроудобрения. Из-за больших объемов накопления в Беларуси (более 4 млн т) 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.

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 1 т лигнина). Массу перемешивают БДТ-3 восьмикратным проходом, после чего бульдозером делают бурты, в которых она выдерживается от 3 до 12 месяцев — 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 $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для ускорения компостирования бурты не делают высокими (не более 1,5 м), а компоненты хорошо перемешивают. При температуре $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ процесс компостирования продолжается не менее 100–120 дней.

Перед использованием компосты должны быть проверены агрохимической службой (кислотность, влажность, содержание основных питательных элементов и равномерность их распределения).

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. Правильно приготовленные лигниновые компосты за четыре года действия дополнительно дают 12–16 ц/га к. ед.

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). 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 вверху 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).

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 агрохимической служб. Лучше всего компосты на основе осадка сточных вод и бытовых отходов использовать в цветоводстве, а также при озеленении территорий и в лесопарковом хозяйстве.

6.8.2. Вермикомпост (биогурус)

Вермикомпост, или биогурус, — это продукт переработки навоза и различных органических отходов червями. Биогурус 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. Черви питаются всеми органическими веществами, которые на 20–25 % состоят из целлюлозы (солома, картон, бумага, опилки и др.). Вермикультура (биогурус) за рубежом рассматривается как важный элемент экологически чистого сельскохозяйственного производства и находит определенную государственную поддержку со стороны правительства в льготном финансировании и освобождении вермихозяев от целого ряда налогов.

Наиболее широко используется в вермикультуре навозный червь *Eusenia 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.

Химический состав вермикомпоста приведен в табл. 6.1.

В различных странах мира разработаны ГОСТы к составу вермикомпоста (биогуруса). На экскременты червей в биогурусе должно приходиться не менее 70% сухого вещества. Готовый биогурус должен отвечать требованиям, приведенным в таблице 6.12. Существенных различий в этих требованиях к составу биогуруса как в нашей стране, так и в других странах не наблюдается.

Таблица 6.12. Требования к составу биогуруса

Показатель	Россия (прейскурант 708201)	ФРГ (ГОСТ)	Польша (ГОСТ)	АТП «Горькое» (опыты)
Содержание органического вещества, %	40–45	40–45	40–60	43–60
Отношение C/N	15	15		15
Содержание доступного азота, %	Не менее 1,5	Не менее 1,5	1,5–3,0	1,8–2,0
Содержание P_2O_5 , %	1,2	1,2	1,8–4,0	1,8–3,0
Содержание K_2O , %	0,5	0,5	1,5–3,0	0,75

Окончание табл. 6.12

Показатель	Россия (прейскурант 708201)	ФРГ (ГОСТ)	Польша (ГОСТ)	АТП «Горецкое» (опыты)
Гумус, %	Не менее 15,0	—	—	20,0
Влажность, %	50,0	40–60	40–60	50–60
pH	6,5–7,5	6,5–7,5	6,8–7,2	7,0–7,1

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.

Урожайность зерновых в первый год применения биогазуса повышается на 6–10 ц/га, клубней картофеля — на 50–60 ц/га.

Перспективно применение биогазуса в овощеводстве как открытого, так и защищенного грунта.

6.9. Сапропель

Сапропель (от греч. *sapros* — гнилой и *pelos* — грязь, ил) — донные отложения пресноводных водоемов различной окраски — от розовой до темно-коричневой. 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 %).

Общие запасы сапропеля в республике оцениваются в 2,76 млрд м³. Самые крупные отложения (мощностью 20 м) — озеро Судобль в Минской области и Большое Святое в Витебской области. Таким образом, запасы сапропеля в Беларуси находятся преимущественно в районах с большими запасами торфа. В качестве перспективного заменителя торфа сапропели могут рассматриваться только в 36 районах республики. Сапропель добывают земснарядами с намывом пульпы в отстойники, где в первый год он обезво-

живается, а на второй после промораживания (в результате чего он становится рыхлым) его сушат и он превращается в сыпучую массу влажностью около 50 %. В зависимости от места добычи сапропели могут содержать от 0,6 до 2,6 % общего азота, от 0,14 до 0,19 — фосфора, от 2,5 до 43,8 — кальция, от 0,3 до 2,3 % — магния. Почти не содержат калия (следы). Доступного азота и фосфора в сапропеле в 3 раза меньше, чем в навозе. Содержание органического вещества колеблется от 12 до 80 %, золы — от 19 до 88 % (в сухом веществе), в том числе до 20–30 % углекислого кальция и магния.

Химический состав сапропелевых удобрений приведен в табл. 6.1.

В зависимости от содержания кремнезема (SiO₂) 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 (табл. 6.12).

Таблица 6.12. Типологический состав озерного сапропеля в Беларуси

Область	Общие геологические запасы, млн т	Прогнозные ресурсы, млн т	Тип сапропеля, % от общих запасов			
			органический	кремнеземистый	карбонатный	смешанный
Брестская	31,8	3,1	47	35	1	17
Витебская	606,3	107,4	15	75	4	6
Гомельская	23,7	1,8	13	83	1	3
Гродненская	31,5	6,2	9	33	31	27
Минская	160,3	55,0	14	52	14	20
Могилевская	10,7	0,6	49	14	1	36
Всего по Беларуси	864,3	174,1	17	68	6	9

Известковистые сапропели в качестве известкового удобрения не хуже мела и доломитовой муки. 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 торфонавозных компостов. Применение сапропеля в качестве местного удобрения требует больших затрат на его добычу, транспортировку и внесение.

Экономически оправдана перевозка сапропелей на расстояние до 20 км. Кремнеземистые сапропели не имеют удобрительной ценности.

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.

6.10. Зеленое удобрение

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. 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 — 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.

При запашке зеленой массы сидератов в количестве 35–40 т/га в почву попадает 150–200 кг азота, что равноценно 30–40 т навоза. 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.

Химический состав зеленого удобрения различных растений приведен в табл. 6.1.

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.

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.

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.

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). Характеристика сидератов в промежуточных посевах приведена в таблице 6.13.

Таблица 6.13. Характеристика сидератов в промежуточных посевах

Культура	Количество дней вегетации	Урожайность биомассы (включая корни), т/га	Содержание NPK в 1 т, кг
Рапс озимый	65	46	10,1
Рапс яровой	60	39	10,5
Люпин многолетний	116	63	9,2
Люпин однолетний	70	62	7,2
Клевер луговой	116	41	14,6
Вика + овес	50	30	14,3

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 запашки перевозят на другой участок. В условиях Беларуси можно широко применять

все три формы зеленого удобрения. 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 (табл. 6.14).

Таблица 6.14 Биологическая характеристика сидеральных культур

Культура	Период от посева до максимальной продуктивности надземной массы, дней	Потребность в тепле — сумма активных температур, °С	Показатель засухоустойчивости культуры
Редька масличная	45–55	650–800	Средне засухоустойчивая
Сурепица яровая	40–50	600–750	Слабо засухоустойчивая
Горчица белая	50–60	700–800	—//—
Рапс яровой	50–60	750–850	—//—
Люпин однолетний	70–80	900–1100	—//—
Горох кормовой	75–85	900–1200	—//—
Фацелия	55–65	700–800	—//—
Сераделла	80–90	1100–1300	—//—
Перко (гибрид озимой сурепицы и китайской капусты)	85–95	1200–1400	—//—
Донник белый	85–95	1200–1400	Очень засухоустойчивая
Донник желтый	85–95	1200–1400	Очень засухоустойчивая
Вика яровая	80–90	1100–1300	Влаголюбивая

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. Зеленую 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 зеленого удобрения с учетом заделки пожнивных и корневых остатков эквивалентна — 4 т/га навоза, полная форма зеленого удобрения при урожайности сидератов 150–250 ц/га — 15 т/га, 250–350 ц/га — 20 т/га навоза.

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.

Расширение посевов сидератов позволяет также в определенной мере ограничить использование торфа — невозполняемого фактора регулирования 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.

6.11. Солома

Эффективным способом использования соломы является ее непосредственное применение на удобрение без отчуждения из агроценоза. Для этих целей она широко используется в отечественной и зарубежной 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 (целюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) и низким содержанием азота и минеральных элементов. 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.).

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 г — калия (K_2O), а также соответствующее количество микроэлементов. Химический состав соломы различных сельскохозяйственных культур приведен в табл. 6.1.

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. Более узкое соотношение этих элементов приводит к минерализации азотистых соединений, а более широ-

кое — усиливает процессы иммобилизации азота. 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 подстильный 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 (табл. 6.15). 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.

Таблица 6.15. Соотношение углерода к азоту в разных видах органических удобрений

Вид удобрения	Влажность, %	Отношение C/N
Навоз подстильный крупного рогатого скота	75	21:1
Навоз полужидкий крупного рогатого скота	90	18:1
Навоз жидкий крупного рогатого скота	95	10:1
Солома зерновых	16	80–100:1
Зеленая масса	80	10–15:1

Широкое отношение углерода к азоту (80–100:1) сдерживает биохимическое разложение соломы, поэтому его необходимо уменьшить. В связи с этим немецкие ученые Н. В. Hutchinson и Е. N. Richaris еще в 1921 г. сформулировали понятие «азотного фактора», означающее количество неорганического азота в граммах, которое органически связывается на каждые 100 г разлагаемого вещества. 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.

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 (табл. 6.16).

Таблица 6.16. Средний состав соломы и соотношение углерода к азоту в соломе сельскохозяйственных культур, % в сухом веществе

Культура	Органический углерод	Содержание, % в сухом веществе					Соотношение углерода к азоту (C:N)	Добавка азота на 1 т соломы, кг д. в.
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO		
Рожь озимая	47	0,48	0,28	1,98	0,19	0,09	97	11
Пшеница озимая	47	0,58	0,23	2,12	0,19	0,09	81	10
Тритикале озимое	48	0,56	0,27	2,07	0,17	0,07	86	10
Пшеница яровая	47	0,49	0,21	2,17	0,13	0,14	96	11
Тритикале яровое	47	0,47	0,27	2,06	0,11	0,07	100	11
Ячмень яровой	48	0,55	0,21	2,60	0,11	0,06	87	10
Овес	47	0,55	0,38	2,21	0,16	0,06	85	10
Люпин узколистный	47	1,11	0,35	1,94	0,93	0,56	42	5
Соя	46	1,10	0,51	1,89	1,02	0,41	42	5
Гречиха	47	0,85	0,52	3,20	0,60	0,46	55	7
Просо	47	0,64	0,43	2,57	0,24	0,44	73	9
Рапс яровой	47	0,70	0,43	2,06	0,84	0,24	67	9
Кукуруза	47	0,55	0,22	2,33	0,34	0,23	85	10

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.

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 C : 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 ризобийным инокулянтом, поэтому на площадях, удобренных соломой, желателно 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. 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 лушильником, 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 желателно 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, желателно в первую очередь размещать бобовые или пропашные культуры. При посеве на этих площадях не бобовых 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 не бобовой 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. Если в качестве поживного зеленого удобрения используется не бобовая 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.

6.12. Бактериальные удобрения

Бактериальные удобрения — это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур.

Наиболее широкое распространение получили препараты, содержащие азотфиксирующие микроорганизмы. Биологический азот в почве накапливается в результате симбиотической, несимбиотической, ассоциативной азотфиксации. 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 поживными остатками 70–100 кг остается в почве.

Наряду с симбиотической азотфиксацией в последние 20 лет достигнуты существенные успехи в изучении ассоциативной азотфиксации, которая превратилась в самостоятельный раздел учения о «биологическом азоте». Разработаны биопрепарат на основе фосфатмобилизирующих микроорганизмов.

Многочисленные полевые исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что если сельскохозяйственные культуры 10–20 % своей потребности в азоте покроят за счет фиксации

из атмосферы, то прием инокуляции может внести значительный вклад в азотный баланс.

Препаративные формы микробных удобрений: жидкие, гранулированные, гелеобразные, сыпучие.

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.

Микробные удобрения, выпускаемые в России: ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии РАСН (Россия): Ризоторфин, Агрофил, Мизорин, Ризоаргин, Азоризин, Флавобактерин.

Краткая характеристика бактериальных препаратов, разработанных в Республике Беларусь. В настоящее время не одно бактериальное удобрение, разработанное в Беларуси не зарегистрировано, но они проходят регистрацию.

Среди активных форм ассоциативных азотфиксаторов следует выделить Ризобактерин.

Ризобактерин и его усовершенствованная форма Ризобактерин-С — разработан на основе ассоциативного diaзотрофа, титр 2–2,5 млрд жизнеспособных клеток/мл, обладающего множественным эффектом (фиксация атмосферного азота, биосинтез ИУК, подавление жизнедеятельности корневых патогенов). Форма препарата — жидкая. Ризобактерин предназначен для предпосевной обработки семян зерновых культур (200 мл/га) с целью повышения их урожайности, качества продукции и интенсификации процесса биологической азотфиксации.

Основа препарата — азотфиксирующий микроорганизм (*Klebsiella planticola* 5), которому свойственна азотфиксация, высокая колонизирующая способность, ростостимуляция, антимикробное действие. Активное усвоение азота атмосферы и использование его растениями позволяет снизить рекомендуемые дозы азотных удобрений под зерновые культуры на 15–30 кг/га. Прибавка урожая составляет в среднем: ячмень — 5–6 ц/га, озимая рожь — 6 ц/га, яровая и озимая пшеница — 3,5–4,5 ц/га.

Замена минерального азота удобрения на биологический азот еще не означает продуктивного его использования, поскольку метаболизм растений в значительной степени зависит от других элементов питания, в частности, фосфора. При его недостатке азот

не включается в состав белков и нуклеиновых кислот растений, а накапливается в виде нитритов и нитратов, что ухудшает качество продукции.

Фитостимифос — фосфатмобилизующие микроорганизмы, действующим началом которого является живая культура и ростостимулирующие метаболиты микроорганизмов *Agrobacterium radiobacter*, титр 6–10 млрд жизнеспособных клеток/мл — ростостимулирующий биопрепарат, осуществляющий микробиологическую трансформацию труднорастворимых фосфатов почвы и удобрений в доступную растениям форму. Они способны колонизировать корни бобовых и небобовых культур образуя тесную ассоциацию. Фитостимифос предназначен для микробиологической фосфатмобилизации и повышения урожайности озимых и яровых зерновых культур, кукурузы, зернобобовых и овощных культур. Форма препарата — жидкая. Норма расхода 200 мл/га. Основа препарата — фосфатмобилизующий микроорганизм, повышает подвижность труднорастворимых фосфатов почвы и удобрения на 10–20 %, позволяет компенсировать на 15–30 % рекомендуемые дозы фосфорных удобрений, увеличивает урожайность в среднем на 20 % (в том числе прибавка урожая кормовых корнеплодов 100–250, сахарной свеклы — 90–95, овощных культур — 60–70, зернобобовых — 2,5–3,5 ц/га).

В целом ряде стран сейчас успешно применяют совместную инокуляцию семян различных культур препаратами азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, что позволяет одновременно улучшить азотное и фосфорное питание растений и сократить дозы внесения минеральных удобрений.

Ризобактерин + *Фитостимифос* — синергические бинарные препараты на основе diaзотрофных и фосфатмобилизующих микробов-интродуцентов. Форма препарата — жидкая.

Сапронит — препарат симбиотических клубеньковых бактерий (на люпине: *Rhizobium lupini*, титр 3–6 млрд КОЕ/мл; на клевере: *Rhizobium trifolii*, титр 5–12 млрд КОЕ/мл), субстратом которого является органический сапропель. Наряду с биологической азотфиксацией штамм клубеньковых бактерий имеет повышенную способность к синтезу ауксина. Форма препарата — жидкая. Сапронит предназначен для предпосевной обработки семян бобовых культур с целью интенсификации процесса симбио-

тического связывания атмосферного азота бобовыми культурами, повышения их урожайности, качества продукции, а также положительного воздействия на последующую культуру севооборота и окружающую среду. Повышает урожайность на 10–15 %. Расход препарата 200 мл/га.

На основе азотобактера (свободноживущего азотфиксатора) методами генной инженерии в ИГиЦ АН Беларуси создан бактериальный препарат *Ризофил*. По результатам испытаний Ризофил повышает урожайность томатов и огурцов в среднем на 25 %, заменяя 20 % азота минеральных удобрений биологически фиксированным.

Глава 7

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ, ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

7.1. Прием и хранение минеральных удобрений на базах районных объединений «Райагропромсервис» и в хозяйствах

Минеральные удобрения, которые поступают в районные объединения «Райагропромсервис» должны приниматься в день прибытия, в противном случае принимающая сторона будет нести материальную ответственность за дополнительный простой вагонов. Прием удобрений проводят совместно с представителем транспортной компании и начинают с осмотра железнодорожных вагонов, наличия и целостности пломб отправителя.

Если принимаемое удобрение не соответствует требованиям (подмочено, слежавшееся, присутствуют посторонние примеси) или имеется его недостача, то составляется акт-рекламация. Для этого из партии удобрения отбирают арбитражные пробы, которые отправляют на качественный анализ в областные проектно-исследовательские станции химизации сельского хозяйства. Этот анализ должен быть выполнен в течение пяти дней.

После получения справки с заключением о недоброкачественности удобрения принимающая его организация («Райагропромсервис») составляет акт-рекламацию, в котором указываются результаты анализа арбитражных проб, и высылает его заводу-поставщику. При этом претензии к отправителю на нестандартную продукцию предъявляются не позднее 10 дней после составления акта приемки.

Поставщик удобрения обязан рассмотреть акт-рекламацию в десятидневный срок и удовлетворить обоснованные и правильно оформленные требования, своевременно сообщив об этом получателю. Если в течение 10 дней принимающая сторона не получит ответа или завод-изготовитель необоснованно откажется удовлетворять претензию, то получатель обязан обратиться в Госарбитраж.

Из вагонов минеральные удобрения выгружаются в прирельсовые склады. При этом пылевидные удобрения из вагонов-цементовозов выгружаются в склады силосного типа (705-1-42, 705-1-43, 705-1-44, 705-1-72), включающие 2, 4 или 6 силосных емкостей 500 т каждая (рис. 7.1), компрессорную станцию, приемное устройство, площадку с твердым покрытием для проезда автотранспорта под загрузку.



Рис. 7.1. Склады силосного типа для хранения доломитовой муки

Жидкие удобрения (из жидких удобрений сельскохозяйственные предприятия республики применяют в основном КАС) поступают в железнодорожных цистернах (рис. 7.2), оборудованных нижним сливом, и разгружаются через сливные стояки с помощью центробежных насосов. Хранится КАС в вертикальных цилиндрических резервуарах вместимостью 50, 100 и 300 м³. В прирельсовые склады КАС входят также: насосная, укомплектованная центробежными насосами с электрическим приводом; сливные стояки

для разгрузки железнодорожных цистерн; наливные стояки для заполнения КАС автоцистерн; бытовые помещения. Люки емкостей должны быть плотно закрытыми.



Рис. 7.2. Железнодорожные цистерны для перевозки КАС

Размещать удобрения на необорудованных открытых площадках категорически запрещается. Удобрения, поступающие в таре (кроме аммонийной селитры), должны аккуратно укладываться на плоские или стоячие поддоны в три яруса по пять рядов в каждом поддоне (всего 15 рядов) и храниться в специальных складах (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Хранение удобрения, затаренного в мешки на поддонах

На складах общего назначения каждому виду удобрений отводится свое место. Склады, не имеющие постоянных секций, условно делят на две части. В одной части хранят затаренные удобрения, в другой — незатаренные. В складах, разделенных на секции, мелкие секции целесообразно использовать для хранения затаренных удобрений, крупные — для незатаренных.

Аммиачная селитра огнеопасна и взрывоопасна, поэтому ее хранят с большой предосторожностью в отдельных складах или в изолированных секциях, которые должны быть отделены от остальной части склада глухой противопожарной кирпичной стеной. Хранят аммонийную селитру на стоечных поддонах в антикоррозийном исполнении в 10 рядов (в два яруса по пять рядов в каждом поддоне). Разрешается временное складирование аммонийной селитры на плоских поддонах высотой 2 м. Расстояние от штабеля до стены 1 м, между штабелями — до 3 м. Вместимость секции не должна превышать 1200 т. Категорически запрещается хранить аммонийную селитру (даже временно) под навесами или на открытых площадках, а также вместе с горючими веществами.

Склады с аммонийной селитрой должны быть оборудованы средствами пожаротушения и иметь на воротах или на стенах со стороны ворот надписи «Аммонийная селитра», «Огнеопасно». При этом место для размещения склада аммиачной селитры необходимо согласовать с органами государственного санитарного и пожарного контроля. Запрещается вблизи от места хранения аммонийной селитры и других пожароопасных минеральных удобрений пользоваться открытым огнем.

Другие виды минеральных удобрений, затаренные в мешки, можно хранить в более высоких штабелях, на плоских или стоечных поддонах. Для выгрузки минеральных удобрений, уложенных на поддоны, из железнодорожных вагонов в склад, а также погрузки их в транспортные средства используются аккумуляторные погрузчики ЭПВ-1, ЭП-103-1,8, ЭП-103-2,8, ЭП-103-4,5, ЭПВ-104/105-4,5 и автопогрузчик марки 4022. Можно также применять ленточные (лучше рифленые) транспортеры.

Удобрения, незатаренные в мешки, хранятся навалом. При этом их слой не должен превышать 4 м (гранулированный суперфосфат до 5 м). Каждый вид удобрения выгружается в отведенный для него отсек, отгороженный передвижными железобетонными или деревян-

ными щитами, с указанием на табличке вида и качества удобрения, содержания в нем питательных элементов и влаги, даты получения.

Для их транспортировки из железнодорожных вагонов в склад и погрузки из складов в автотранспорт используются погрузчики непрерывного действия с ленточными конвейерами.

Под навесами и в складах с открытыми воротами, где имеется хорошая циркуляция воздуха, для погрузки незатаренных минеральных удобрений в автотранспорт используют колесные погрузчики непрерывного действия с транспортером, высокопроизводительный элеваторный погрузчик Д-565, а также автопогрузчики с навесным ковшом 4045 и 4022, погрузчики Д-660, Т-18 и др.

Многие удобрения обладают повышенной гигроскопичностью, то есть способностью поглощать парообразную влагу из атмосферы. Чтобы избежать излишнего накопления влаги в удобрениях воздух в складских помещениях должен быть сухим. Для этого в ясную сухую погоду складские помещения проветривают, а в сырую и дождливую, наоборот, закрывают. При этом максимально допустимая влажность удобрений при хранении в типовых прирельсовых складах не должна превышать:

- у суперфосфата гранулированного двойного — 6 %;
- сульфата аммония незатаренного — основной массы — 2 %, поверхностного слоя — 3 %;
- мочевины затаренной и незатаренной — соответственно 1 и 2 %;
- хлористого калия незатаренного — 4 %;
- нитрофоски затаренной — 5 %;
- аммонийной селитры затаренной — 2 %.

Транспортировка пылевидных известковых удобрений из завода изготовителя ОАО «Доломит» до прирельсового склада районного объединения «Агросервис» производится железнодорожными вагонами-цементовозами С-825 грузоподъемностью 58 т (рис. 7.4).

К сожалению, удобрения в сельскохозяйственные предприятия поступают в течение года неравномерно, а их применение носит сезонный характер. Именно поэтому хозяйства вынуждены складировать минеральные удобрения и хранить их в течение нескольких месяцев. При этом правильная организация хранения минеральных удобрений в хозяйствах является одним из важных рычагов, позволяющих существенно снизить их потери.



Рис. 7.4. Железнодорожные вагоны для перевозки цемента и пылевидных удобрений

Минеральные удобрения нельзя хранить насыпью на открытых необорудованных площадках. Такое хранение приводит к поглощению гигроскопической влаги и слеживанию удобрений, значительному снижению содержания в них питательных веществ (до 15 %). Слежавшиеся удобрения требуют дополнительной подготовки к внесению, а соответственно затрат труда и энергии.

Допускается хранение на открытом воздухе лишь удобрений, упакованных в полиэтиленовые мешки (за исключением аммиачной селитры). Площадка, на которой планируется хранить удобрения должна размещаться на возвышенном месте, иметь небольшой уклон, асфальтовое или бетонное покрытие с обязательным отводом дождевых и талых вод.

При этом мешки с удобрением необходимо располагать на поддонах в виде штабеля с обязательным укрытием водонепроницаемой тканью или полиэтиленовой пленкой.

Склады для хранения минеральных удобрений должны быть построены по типовым проектам (рис. 7.5). Размеры складов для хранения минеральных удобрений в сельскохозяйственных предприятиях рассчитываются на определенную емкость с учетом годовой оборачиваемости удобрений. Как правило, они имеют меньший объем, чем прирельсовые склады районных объединений

«Райагропромсервис». Здания складов строят из железобетонных, металлических или облегченных деревянных конструкций, а также из кирпича и других местных строительных материалов. Располагают их на расстоянии не менее 200 м от жилых, общественных и производственных зданий.



Рис. 7.5. Типовой склад для хранения минеральных удобрений

Емкости с КАС должны устанавливаться на прочные опоры, исключая деформацию резервуаров, или укладываться на песчаную «подушку». В последнем случае нижнюю часть емкости покрывают битумом.

Прием удобрений, поступающих в сельскохозяйственные предприятия, выполняет заведующий складом минеральных удобрений, который несет ответственность за их сохранность и условия хранения. Заведующий складом обязан вести точный учет поступления и расхода удобрений и отпускать минеральные удобрения со складов или площадок только по накладным.

В целом требования к хранению минеральных удобрений в условиях сельскохозяйственного предприятия аналогичны требованиям их хранения на складах районных объединений «Райагропромсервис». Санитарное состояние складских помещений при выполнении погрузочно-разгрузочных мероприятий не должно превышать допустимые нормы по запыленности и загазованности. При этом хранение, погрузка и транспортировка минеральных удобрений должны осуществляться без их потерь и загрязнения.

7.2. Подготовка минеральных удобрений к внесению

Подготовка минеральных удобрений к внесению производится в складах или на специально подготовленных заасфальтированных площадках. Она состоит из растаривания, измельчения слежавшихся удобрений и их смешивания. Измельчение и смешивание удобрений выполняют с помощью растаривателя-измельчителя АИР-20 (рис. 7.6) или с использованием мобильной тукосмесительной установки УТМ-30 (рис. 7.7). Они используются для получения двух- или трехкомпонентных тукосмесей с возможностью их одновременной загрузки в транспортные средства. При отсутствии специального оборудования подготовка удобрений к внесению выполняется вручную.



Рис. 7.6. Растариватель-измельчитель минеральных удобрений АИР-20

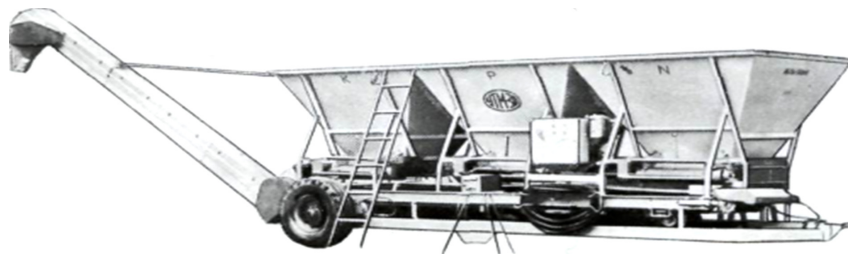


Рис. 7.7. Мобильная тукосмесительная установка УТМ-30

Большинство удобрений можно смешивать непосредственно перед их внесением. При этом наилучшими физическими свойствами отличаются те тукосмеси, которые подготовлены из гранулированных удобрений с равновеликим размером гранул и влажностью, соответствующей требованиям ГОСТа (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Пригодность удобрений к смешиванию

Удобрения	Удобрения										
	Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	Нитрофоски, аммиачная селитра	Натриевая, кальциевая и калийная селитра	Мочевина (карбамид)	Суперфосфат	Фосфоритная и костная мука	Преципитат	Томасшлак, фосфатшлак	Калийная соль, сильвинит, каинит, хлористый калий	Известь, зола	Навоз, помет
Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	++	++	+	++	+	+	+	-	++	-	-
Нитрофоски, аммиачная селитра	++	++	++	+	+	+	+	-	+	-	-
Натриевая, кальциевая и калийная селитра	-	++	++	+	+	+	+	+	+	+	-
Мочевина (карбамид)	++	+	+	++	++	+	+	+	+	+	+
Суперфосфат	+	+	+	++	++	+	+	-	+	-	+
Фосфоритная и костная мука	+	+	+	+	+	++	+	+	+	-	++
Преципитат	+	+	+	+	+	+	++	+	+	-	-
Томасшлак, фосфатшлак	-	-	+	+	-	+	+	++	+	++	-
Калийная соль, сильвинит, каинит, хлористый калий	++	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++
Известь, зола	-	-	+	+	-	-	-	++	+	++	-
Навоз, помет	-	-	-	+	++	++	-	-	++	-	++

Примечание. «++» — смешивание возможно заблаговременно; «+» — смешивание возможно непосредственно перед внесением; «-» — смешивание недопустимо.

Тукосмеси при заблаговременном смешивании некоторых удобрений могут перейти в физическое состояние непригодное для разбрасывания по полю. Например, если аммонийную селитру и суперфосфат смешать заблаговременно, получается вязкая масса, неудобная для рассеивания, которая при хранении затвердевает. Именно поэтому эти удобрения необходимо смешивать в день внесения.

Для улучшения физических свойств тукосмесей из наиболее распространенных удобрений (аммонийной селитры, гранулированного суперфосфата и хлористого калия), а так же для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и снижения его гигроскопичности добавляют 10–15 % доломитовой муки, благодаря которой приготовленная смесь сохраняет сыпучесть даже после 4–5 месяцев хранения. Хорошими физическими свойствами обладают смеси из гранулированных удобрений, особенно при одинаковых размерах гранул. Для приготовления тукосмесей с высоким содержанием NPK и хорошими физическими свойствами в первую очередь используют мочевины или аммонийную селитру, двойной суперфосфат или аммофос, крупнокристаллический хлористый калий. Влажность смешиваемых аммонийной селитры, сульфата аммония и мочевины не должна превышать 3 %, фосфоритной муки и калийных удобрений — 2 %, двойного гранулированного суперфосфата — 5 %.

7.3. Технология внесения известковых удобрений, технологические схемы и машины для внесения

Все известковые материалы в зависимости от их физических и механических свойств подразделяются на две группы:

- 1) пылевидные (доломитовая мука, цементная пыль, металлургические шлаки, сланцевая зола);
- 2) непылящие (известковая мука, известковый туф, озерная известь, мел рыхлый, дефекал).

В зависимости от расстояния перевозок, доз внесения и наличия необходимых машин пылевидные известковые удобрения применяют по двум технологическим схемам: прямоточной и перегрузочной.

Прямоточная схема предусматривает загрузку известкового удобрения на складе непосредственно в машину для внесения удобрений. При использовании агрегатов на автомобильной тяге (АРУП-8) прямоточную схему целесообразно применять в том случае, если расстояние от прирельсового склада до известкуемого поля не превышает 20–30 км. Внесение известковых удобрений по прямоточной схеме агрегатами, сформированными на тракторной тяге (РУП-8) экономически выгодно использовать на расстояниях 5–6 км.

При перевозке на большие расстояния применяют *перегрузочную схему*. В этом случае известковое удобрение загружается на транспортное средство (автомобиль-самосвал САЗ-3502), которое перевозит его к месту разбрасывания и там перегружается в кузовные разбрасыватели и вносится в почву. Этот способ применяется также при плохом состоянии дорог и подъездных к месту внесения путей, а так же невозможности передвижения по полю АРУП-8. К сожалению, лимитирующим фактором применения перегрузочной схемы часто выступает недостаток погрузчиков.

В целом количество занятых на известковании почв машин зависит от схемы организации работ, состояния дорог, расстояния транспортировки, скорости движения транспортных средств и дозы удобрений.

Для транспортировки и внесения слабопылящих известковых удобрений применяют средства механизации общего назначения, в том числе самосвальные транспортные машины и кузовные разбрасыватели МВУ-5, МВУ-8, МВУ-16, КСА-3, МХА-7 и др.

При внесении слабопылящих известковых удобрений кроме прямоточной и перегрузочной схем часто применяют перевалочный способ, согласно которому удобрения доставляются автотракторным транспортом к полю и складываются на его краю в бурты, из которых загружаются в кузовные разбрасыватели и вносятся в почву.

В настоящее время в Беларуси налажено серийное производство машины МХС-10 с распределителями штангового типа (рис. 7.8). Это автомобиль с платформой для внесения известковых материалов на базе самоходного шасси МАЗ со съемным кузовом предназначен для транспортирования и поверхностного внесения пылевидных химических мелиорантов. Он может также использоваться для внесения основных доз твердых минеральных удобрений.



Рис. 7.8. Машина химизации МХС-10 с распределителями штангового типа

Самоходное шасси обеспечивает повышенную мобильность в использовании. Неравномерность внесения доломитовой муки по ходу движения и ширине захвата не превышает 15 %.

7.4. Технология транспортировки и внесения твердых и жидких минеральных удобрений

Транспортировка и внесение твердых минеральных удобрений может проходить по прямоточной, перевалочной и перегрузочной технологическим схемам. Выбор наиболее оптимальной схемы зависит от расстояния перевозки, качества дорог и подъездных путей к полю, наличия погрузчиков и машин для транспортировки и внесения удобрений, доз удобрений.

Как правило, прямоточная схема эффективна при небольшой удаленности полей от склада. При прямоточной схеме автомобильные разбрасыватели КСА-3 (в перспективе КСА-7) или тракторные агрегаты с разбрасывателями 1РМГ-4, МВУ-5 или МВУ-8, РУ-1600, РУ-3000 транспортируют и разбрасывают удобрения.

Перегрузочная схема предполагает использование для перевозки и внесения специализированных машин. Вносят удобрения комбинированными посевными машинами типа СЗК-3,3 или машинами для локального допосевного внесения типа АВМ-8, а доставляют в поле транспортно-перегрузочными машинами, например автопогрузчиками УЗСА-40, ЗАУ-3, СА3-3502 или АП-7 и

ЗМУ-8. При значительной удаленности полей от места хранения удобрений по перегрузочной схеме работают также разбрасыватели 1РМГ-4, МВУ-5 и МВУ-8.

Перевалочная технологическая схема используется при недостатке транспортно-погрузочных механизмов. Удобрения подвозят транспортными средствами общего назначения и выгружают на подготовленные площадки рядом с полем. Разбрасыватели кузовного типа загружают в поле грейферными или фронтальными погрузчиками сельскохозяйственного назначения (ПКУ-0,8, Д-561Б, ПЭ-0,85 и др.).

В зависимости от особенностей возделываемых культур минеральные удобрения вносят в основную заправку, при посеве и в подкормку.

Для поверхностного основного внесения минеральных удобрений применяют кузовные разбрасыватели с центробежными рабочими органами (МВУ-0,5, 1РМГ-4, РМС-6, МВУ-5, МВУ-8, МХА-7, РУ-1600, РУ-3000 и др.). Их преимуществом являются высокая производительность, относительно низкая энергоемкость и возможность внесения высоких доз минеральных удобрений.

Для внесения удобрений во время сева используются зернотуковая универсальная сеялка С-6Т, сеялки точного высева с внесением удобрений СТВ-8КУ, СТВ-12У, СПЧ-6ЛТ, картофелесажалка с внесением удобрений СК-4.

Подкормку сельскохозяйственных культур проводят или одновременно с междурядной обработкой почвы, или без нее, например, при поверхностном распределении удобрений по посевам зерновых.

Внесение азотных удобрений должно производиться с неравномерностью не более 10 %, фосфорных и калийных — 15–20 %.

Для применения твердых азотных удобрений следует использовать штанговые машины РШУ-12, МТТ-4Ш, СУ-12, или центробежные машины «Альфа» (Германия), «RAUCH», РДУ-1,5, которые обеспечивают более равномерное внесение удобрений.

В последнее время в Республике Беларусь все чаще используется самоходная, высокой проходимости машина «РОСА» с приставкой для внесения минеральных удобрений (рис. 7.9). Она оказывает минимальное давление на почву и наиболее пригодна для ранневесенней подкормки сельскохозяйственных культур.



Рис. 7.9. Машина для внесения твердых минеральных удобрений МВТУ «Роса»

Машины для внутрипочвенного внесения удобрений могут быть специализированными, комбинированными и универсальными. По способу агрегатирования они подразделяются на навесные, полунавесные и прицепные. Глубокорыхлители-удобрители КПГ-2,2 и ГУК-4 одновременно с плоскорезной обработкой почвы вносят удобрения «экрansom». Машина МПК-4 за один проход выполняет культивацию, рыхление, локальное (ленточное) внесение удобрений и выравнивание поверхности поля. Чизель-культиватор-удобритель ЧКУ-4 предназначен для одновременного внесения минеральных удобрений и обработки почвы под пропашные культуры, зернотуковая стерневая сеялка СЗС-2,1 — для локального внесения основной дозы удобрений до посева или одновременно с ним. Внутрипочвенное основное внесение удобрений одновременно с предпосевной обработкой почвы выполняет агрегат АВМ-8, который навешивается на самоходное высокопроходимое энергетическое средство ЭСВМ-7, созданное на базе трактора Т-150К.

Машины для внутрипочвенного основного внесения удобрений работают по перегрузочной схеме: загружаются автозагрузчиками УЗСА-40, ЗАУ-3, СА3-3502 или АП-7 и ЗМУ-8.

Интенсификация земледелия неразрывно связана с усложнением технологических процессов и увеличением количества проходов сельскохозяйственных агрегатов по полю. Это приводит к

переуплотнению пахотного горизонта и ухудшению структурного состояния почвы. Уменьшить переуплотнение почв позволяют комбинированные машины, выполняющие за один проход несколько операций. Так, для рядкового сева зерновых и зернобобовых культур и одновременного внесения гранулированных удобрений выпускаются зернотуковые сеялки: универсальная СЗ-3,6, узкорядная СЗУ-3,6, анкерная СЗА-3,6, травяная СЗТ-3,6, льняная СЗЛ-3,6. Каждая из них оснащена зерновым бункером и емкостью для удобрений.

На кукурузных и свекловичных сеялках, выполняющих гнездовое и рядковое внесение минеральных удобрений, устанавливаются универсальные туковысевающие аппараты АТД-2 и АТ-2А. Машины вносят семена и удобрения либо послойно, либо гнездами, с тем, чтобы они не соприкасались в почве. Для квадратно-гнездового и пунктирного сева кукурузы предназначены навесные комбинированные сеялки СКНК-6 и СКНК-8 с (соответственно) тремя и четырьмя туковысевающими аппаратами. Сеялки ССТ-8 и ССТ-12А для сева свеклы имеют соответственно два и три туковысевающих аппарата. Картофелепосадочные машины СКС-4, СКМ-3, СКМ-6, СН-4Б и другие одновременно вносят в рядки (лентами) удобрения, для чего оборудованы аппаратами АТ-2А и АТД-2.

Междурядную подкормку пропашных культур как твердыми, так и жидкими минеральными удобрениями выполняют культиваторами-растениепитателями КРН-4,3, КРН-5,6, КРН-8,4, УСМК-5,4А, КОР-4,2, культиватором-окучником навесным КОН-2,8ПМ и культиватором-гребнеобразователем КГФ-2,8 с туковысевающими аппаратами АТД-2, АТ-2.

Для транспортировки и внесения жидких комплексных удобрений и карбамидно-аммиачной селитры (КАС) предназначены машины грузоподъемностью 2,5, 4,5. Эти соответствующие им машины ПЖУ-2,5, ПЖУ-5 и ПЖУ-9 для поверхностного внесения жидких удобрений, оборудованные широкозахватными штангами. Этими агрегатами удобрения вносятся перед обработкой почвы после уборки зерновых или парозанимающих культур, а также на лугах и пастбищах. Поверхностное внесение жидких удобрений может выполняться также прицепными штанговыми тракторными опрыскивателями ОШТ-1 и ОПШ-15 и универсальными подкорм-

щиками-опрыскивателями ПОУ, ПОМ-630, ПОМ-2000 с полевой штангой.

Для почвенного внесения ЖКУ и КАС применяют машины ПОМ-630 и ПОУ в агрегате с культиваторами-растениепитателями КРН-4,2 и КРН-5,6. На предварительно подготовленной почве для почвенного внесения жидких минеральных удобрений, а также подкормки пропашных культур с шириной междурядий 45, 60, 70 и 90 см можно использовать машины типа ПЖУ. При междурядной обработке пропашных культур подкормщик агрегируют с культиваторами КРН-4,2, УСМК-5,4, КРН-2,8М и КРН-5,6. Если агрегат используют для сплошной обработки почвы, то применяют культиваторы типа КПС-4-02 и другие, оборудованные специальными рабочими органами.

Для транспортировки жидких минеральных удобрений применяют транспортные средства общего назначения, в частности автомобили-цистерны АЦ-4,2-130, АЦ-4,2-53А, АЦА-3,85-ВА и др., а также разбрасыватели жидких органических удобрений РЖТ-4М, РЖТ-5, РЖТ-8, РЖТ-16.

Работы по внесению ЖКУ и КАС могут быть организованы по прямоточной, перегрузочной и перевалочной технологической схемам. При внесении ЖКУ в дозе 300 кг/га машиной ПЖУ-5 прямоточная технология рациональна, если расстояние не превышает 2,5 км. Перегрузочная технология возможна в двух вариантах: заправка непосредственно из транспортных машин или из цистерны, оставленной на краю поля. Для перевалочной технологии нужны полевые стационарные или передвижные хранилища, из которых заправляют машины для внесения удобрений.

7.5. Технология 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 — перегрузочная; III — перевалочной (ферма — бурт, штабель — поле).

При прямоточной технологии удобрения из мест накопления (прифермских полевых секционных навозохранилищ или площа-

док компостирования обычно вблизи животноводческих комплексов) транспортируют и вносят тракторными прицепами-разбрасывателями без буртования в поле с немедленной заделкой в почву. Для внесения твердых органических удобрений используются МТТ-4, ПРТ-7А, ПРТ-11 и их аналоги. 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.

Перегрузочная 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.

При перевалочной технологии транспортируют 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.

На практике наиболее распространена схема 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.

7.6. Техника безопасности при транспортировке, хранении и внесении удобрений

Работник сельскохозяйственного предприятия, приобретающий средства химизации, должен пройти инструктаж на выполнение той или иной операции по их применению в районном объединении.

Для получения и транспортировки с прирельсового (пристанционного) склада, с завода или базы химизации минеральных удобрений должен быть задействован специализированный транспорт. Для перевозки химических препаратов выпускаются закрытые автомобили-самосвалы и специализированные автомобили.

Транспортное средство должно быть укомплектовано аптечкой первой помощи, средствами индивидуальной защиты (спецодежда, защитные перчатки, респиратор, противогаз при необходимости).

К работе с удобрениями и известковыми материалами допускаются лица не моложе 18 лет. Все работники перед началом работы с удобрениями должны пройти инструктаж по технике безопасности. Правила техники безопасности и санитарные правила при обращении с удобрениями вывешивают в помещении склада. Для работы с удобрениями на складе и вне его все работающие должны иметь и использовать рекомендуемую для данного вида работы спецодежду и предохранительные приспособления: комбинезон, рукавицы, очки, респираторы или (при работе с жидким аммиаком) противогазы.

При хранении аммиачной селитры необходимо соблюдать правила противопожарной безопасности. Нельзя хранить ее навалом вне склада и совместно с горючими веществами (торфом, соломой, нефтепродуктами и др.). В складе, где хранят аммиачную селитру, нельзя курить, пользоваться открытым огнем и обогревательными приборами. Возникший пожар следует тушить только водой. При тушении пожара необходимо пользоваться противогазом, чтобы избежать отравления выделяющимися оксидами азота. Особую осторожность следует соблюдать при работе с жидким аммиаком. Емкости для его хранения и транспортировки должны иметь герметически закрывающиеся люки. При попадании жидких азотных удобрений на кожу их необходимо быстро смыть водой. При тяжелом отравлении аммиаком пострадавшего выносят на свежий воздух и вызывают врача. В случае прекращения дыхания пострадавшему делают искусственное дыхание.

Во время внесения удобрений нельзя находиться вблизи разбрасывающих рабочих органов машины (не ближе 50–60 м от них). Загрузку удобрений в машины можно проводить только при полной их остановке. Все приводы машины должны быть закрыты щитами. Смазку и регулировку рабочих органов следует проводить

только при полной остановке машины и выключенном двигателе трактора. При транспортировке и внесении удобрений нельзя находиться между трактором и машиной. Скорость движения машин при внесении удобрений не должна быть выше установленной техническими условиями. В транспорте с минеральными удобрениями запрещается перевозка людей, пищевых продуктов, питьевой воды и предметов домашнего обихода.

При непрерывной работе с удобрениями рекомендуют делать пятиминутные перерывы через каждые полчаса работы в респираторе.

По окончании работы следует принять душ или тщательно вымыться с мылом. На месте работы постоянно должны быть запас чистой воды и аптечка.

При попадании удобрений в глаза следует промыть их большим количеством чистой воды и затем обратиться в медпункт, а при ожоге промыть обожженные места сильной струей воды, обработать 5%-м раствором спирта и наложить марлевую повязку.

Запрещается вносить органические удобрения дождеванием или разбрасыванием в 30-метровой зоне от линий электропередачи.

После окончания работ все площадки, машины, инвентарь должны быть освобождены от остатков минеральных удобрений, очищены и промыты водой под напором из шланга. Эта работа проводится на моечных площадках.

Работы, связанные с утилизацией навоза, следует выполнять в спецодежде. Категорически запрещается спускаться в колодезь или навозосборник без противогаза и предохранительного пояса с веревкой. Предварительно соблюдая меры безопасности, скопившийся газ удаляют выжиганием.

Соблюдение правил техники безопасности и санитарных правил — непременное условие правильной организации труда при работе с минеральными удобрениями, которое предотвращает несчастные случаи и производственные травмы у работников.

Глава 8

СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

8.1. Основные принципы построения системы удобрения

Система удобрения — это план применения органических и минеральных удобрений, в котором отражены дозы, сроки и способы их внесения в зависимости от биологических особенностей возделываемых культур и их предшественников, уровня почвенного плодородия, степени загрязнения территории радионуклидами, почвенно-климатических и других условий.

Её разработка и применение дает возможность получать запланированные урожаи при минимальных затратах средств и энергии, существенно повысить эффективность удобрений, обеспечивая при этом воспроизводство почвенного плодородия и предотвращение загрязнения продукции и окружающей среды.

Как правило, системы удобрений разрабатываются под отдельные культуры, севообороты и в целом для сельскохозяйственных предприятий.

Система удобрения под отдельные культуры предусматривает определение потребности в органических и минеральных удобрениях, выбор видов и форм удобрений, установление сроков и способов их внесения, оплату удобрений прибавкой урожая. Количественно она характеризуется дозой внесения удобрений за период вегетации, качественно — оплатой 1 кг д. в. NPK или 1 т органических удобрений прибавкой урожая.

Система удобрения в севообороте — план применения удобрений на ротацию севооборота с учетом плодородия почв, осо-

бенностей возделываемых культур и их сортов, погодных условий, состава, свойств и последствий удобрений. В нём предусматривается наиболее оптимальное распределение удобрений между культурами севооборота с целью повышения почвенного плодородия и получения запланированных урожаев, а также предотвращения загрязнения окружающей среды.

В связи с тем, что севооборот размещается не только во времени, но и в пространстве разработанная для него система удобрения должна ежегодно корректироваться с учетом уточненных показателей агрохимического обследования почв, возможного изменения чередования культур, планируемой урожайности и погодных условий.

Ежегодный план применения удобрений в севообороте является одним из наиболее важных документов, с помощью которого рассчитывают потребность хозяйства в удобрениях по срокам их применения, разрабатывают технологии их внесения, принимают необходимые организационные решения.

Аналогичны по своей цели и содержанию системы удобрения лугов, пастбищ и многолетних насаждений.

Количественно систему удобрения севооборота характеризует средний объем (на 1 га) удобрений, вносимых ежегодно и за ротацию севооборота (в последнем случае говорят о насыщенности севооборота удобрениями). Минеральные удобрения учитываются в килограммах д. в. NPK, органические — в пересчете на стандартный навоз (в тоннах). Качественно система удобрения севооборота характеризуется окупаемостью 1 кг д. в. минеральных удобрений и 1 т органических удобрений урожаем всех культур севооборота (в пересчете на кормовые единицы). Система удобрения севооборота разрабатывается на ротацию, лугов, пастбищ, многолетних насаждений и др. — на период их использования.

Система удобрения хозяйства включает накопление, приобретение, хранение, учет и рациональное распределение удобрений по объектам использования, а так же разработку мероприятий по их подготовке, транспортировке, внесению и повышению агрономической и экономической эффективности. При этом основной целью системы удобрения хозяйства является рациональное использование удобрений, поддержание почвенного плодородия и охрана окружающей среды.

Количественно система удобрения хозяйства характеризуется объемом органических (в тоннах) и минеральных удобрений

(1 кг д. в. на 1 га сельскохозяйственных угодий). Например, на 1 га сельхозугодий в хозяйстве вносится в среднем за год 10 т органических удобрений и 215 кг NPK, из них 70 кг азота, 60 — фосфора и 85 кг — калия.

Качественно систему удобрения хозяйства характеризуют показатели агрономической, экономической и энергетической эффективности использования удобрений. Об уровне агрономической эффективности удобрений в целом по хозяйству судят по окупаемости прибавкой урожая всех культур (в кормовых единицах) 1 т органических и 1 кг д. в. минеральных удобрений (сумма NPK). К показателям экономической эффективности относятся чистый доход (прибыль) с 1 га, а также окупаемость затрат, связанных с применением удобрений. Оценка энергетической эффективности применения удобрений проводится по соотношению количества энергии, накопленной в прибавке урожая, обусловленной применением удобрений и количества энергии, затраченной на производство, транспортировку, хранение и внесение удобрений, а также на уборку дополнительного урожая, его транспортировку, переработку и реализацию. Данное соотношение называется энергетическим коэффициентом применения удобрений и должно быть больше единицы.

В зависимости от видов применяемых удобрений выделяют минеральную, органическую и органоминеральную системы удобрения.

Минеральная система основана на применении только минеральных удобрений. Она обеспечивает максимальный выход продукции в первую очередь за счет азотных удобрений, без применения которых фосфорные и калийные удобрения практически не дают прибавки урожайности. На фоне минеральной системы удобрения плодородие почвы, как правило, стабилизируется, либо несколько снижается. При этом пополнение органического вещества в почве происходит за счет корневых и пожнивных остатков сельскохозяйственных растений, заправки соломы и посева промежуточных культур на зеленое удобрение.

Органическая система основана на применении одних органических удобрений. На фоне её длительного применения плодородие почвы, как правило, повышается. За счет высоких затрат на внесение органических удобрений и меньшей прибавки урожайности экономическая эффективность данной системы по сравнению с минеральной несколько ниже.

Органоминеральная система основана на сочетании органических и минеральных удобрений. Она является наиболее эффективной и получила широкое распространение в Республике Беларусь. Данная система удобрения позволяет получать высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур, обеспечивая при этом поддержание, а при необходимости и расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

Выбор той или иной системы удобрения зависит от специализации хозяйства, концентрации скота на комплексах, удаленности полей от животноводческих ферм.

При разработке системы удобрения важно учитывать перспективы развития сельскохозяйственного предприятия, особенности климатических и почвенных условий, уровень применения удобрений и агротехники. При этом необходимо определить потребности сельскохозяйственного предприятия как в органических удобрениях, так и в минеральных удобрениях (с учётом сложившихся экономических возможностей хозяйства и ассортимента проставляемых удобрений).

Проектирование системы удобрения включает:

- составление плана известкования (составляется областными проектно-изыскательскими станциями химизации сельского хозяйства);
- расчет доз удобрений под сельскохозяйственные культуры;
- расчет баланса гумуса и элементов питания в почве;
- расчет энергетической и экономической эффективности применения удобрений;
- определение потребности в рабочей силе, тракторах, автомобилях и машинах для внесения удобрений.

8.2. Определение доз минеральных удобрений

8.2.1. Физиологические основы определения потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях

При определении доз внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры учитывают величину планируемого урожая, удельный вынос элементов питания растениями, содержание в почве доступных для растений питательных элементов, тип и гра-

нулометрический состав почвы. При этом под удельным выносом понимают то количество элементов питания, которое отчуждается из почвы с одной тонной основной продукции (зерно, клубни и др.) и соответствующим количеством побочной (солома, ботва и др.). Значение данного показателя зависит от почвенных и погодных условий, особенностей сорта, величины урожайности, доз внесения удобрений, условий орошения и у одних и тех же культур существенно различается.

Вынос элементов питания с основной продукцией, как правило, увеличивается при внесении удобрений, при этом в большей степени возрастает вынос калия, затем — азота и в меньшей степени — фосфора. Вынос возрастает при увеличении в составе отчуждаемой с поля биомассы доли побочной продукции, а также при неблагоприятном влиянии на возделываемые культуры факторов внешней среды. Чем оптимальнее условия роста растения, тем более экономно используются элементы питания.

Соотношение элементов питания, используемых на создание сельскохозяйственной продукции, значительно меняется в зависимости от особенностей возделываемой культуры и структуры урожая. Так в зерне обычно содержится примерно в 4 раза больше азота и фосфора, чем в соломе, а калия и кальция, наоборот, в соломе в 2–3 раза больше, чем в зерне. Картофель, подсолнечник, капуста, сахарная свекла гораздо больше потребляют калия, чем зерновые культуры. Клеверу и конопле присуще высокое потребление кальция.

Общая потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания характеризуется размерами биологического выноса, т.е. количеством элементов питания, накопленных во всей формируемой биомассе растений (в надземных органах и корнях). Биологический вынос подразделяется на хозяйственный вынос и остаточный.

Хозяйственный вынос — это часть биологического выноса элементов питания, которая отчуждается с поля с основной и побочной продукцией. Если побочная продукция (солома или ботва) остаётся в поле, то элементы питания, содержащиеся в них, не учитываются в хозяйственном выносе.

Остаточный вынос — это та часть биологического выноса, которая остаётся на поле с пожнивными и корневыми остатками,

опавшими листьями, просыпанным зерном и половой. На остаточный вынос приходится значительная, а иногда и большая часть питательных элементов, которые были использованы растениями для создания урожая.

Учитывая, что остаточный вынос элементов питания не отчуждается с поля и постепенно становится доступным для растений, для характеристики потребности возделываемых культур в питательных элементах используют величину хозяйственного выноса с единицей урожайности основной продукции (центнер, тонна) с учетом соответствующего количества побочной. Данный показатель называется удельным выносом. С его помощью определяют дозы внесения удобрений под планируемую урожайность.

Величина удельного выноса у одних и тех же культур существенно различается (в 1,5 раза и более) в зависимости от почвенных условий, сорта, уровня урожайности, объемов внесения удобрений, условий орошения, особенностей почвенного покрова.

Большинство сельскохозяйственных культур выносит азота больше, чем калия и фосфора. Из зерновых по выносу азота на первом месте находится пшеница, затем идут ячмень, озимая рожь, овес. Гречиха выносит много азота и значительно больше, чем зерновые колосовые, калия, из бобовых больше всего выносит калия люпин. Следом за ним по убывающей располагаются горох, пелюшка, кормовые бобы, сераделла. Картофель, сахарная и кормовая свекла, многолетние злаковые травы, овощные культуры выносят калия больше, чем азота. Так, если N, P₂O₅ и K₂O в урожае зерновых соотносятся, в среднем, как 1:0,4:1, то в урожае корнеплодов как 1:0,32:1,5, многолетних злаковых трав — 1:0,3:1,6, многолетних бобово-злаковых трав — 1:0,3:1,49, овощных культур (в среднем) 1:0,37:1,2.

В создании урожая растения используют питательные элементы не только из удобрений, а также из запасов почвы. Степень усвоения питательных элементов из почвы и из удобрений принято выражать коэффициентами.

Количество питательного элемента в пахотном слое (0–20 см) определяют, умножая содержание его по картограмме (мг/кг почвы) на коэффициент пересчета (последний равен 3 при плотности почвы 1,5 г/см³, 2,8 — при плотности 1,4 г/см³, 2,6 — при 1,3 г/см³; для торфяных почв коэффициент пересчета равен 0,5). Например,

если по картограмме содержание фосфора в подвижной форме составляет 150 мг в 1 кг минеральной почвы, то запасы его в пахотном слое будут равны 450 кг/га (150ЧЗ).

Доля потребленного из запасов почвы питательного элемента от общего количества его подвижных форм в пахотном слое на 1 га выражается коэффициентом (в процентах или десятичной дробью), который рассчитывается по формуле $K_{\text{п}} = a/v \cdot 100$, %, где a — количество элемента питания, выносимое с урожаем на удобренной почве, кг/га; v — содержание подвижной формы элемента питания в пахотном слое, кг/га.

Коэффициенты использования питательных элементов из почвы меняются в зависимости от биологических особенностей культуры, плодородия почвы, погодных условий, уровня агротехники и др. Чем выше содержание элемента питания в почве в доступной форме, тем ниже коэффициент его использования растениями. Коэффициенты использования питательных элементов выше в условиях орошения (в 1,5–2 раза), а также при внесении органических, минеральных удобрений и известковых материалов, усиливающих доступность питательных элементов из почвы. Кроме того, коэффициенты учитывают усвоение питательных элементов из пахотного слоя, а растения могут использовать их и из более глубоких слоев. Все это затрудняет использование коэффициентов для расчета доз удобрений.

Средние значения коэффициентов использования питательных элементов растениями из дерново-подзолистых почв приводятся в таблице 8.1. На торфяно-болотных почвах сельскохозяйственные культуры усваивают из запасов почвы 10–20 % (в среднем 15 %) фосфора и 30–50 % (в среднем 40 %) калия.

Таблица 8.1. Коэффициенты использования сельскохозяйственными культурами P_2O_5 и K_2O из дерново-подзолистых почв, %

Культура	P_2O_5	K_2O
Зерновые, зернобобовые, однолетние и многолетние травы	6	10
Лен-долгунец	3	6
Кукуруза на силос	5	20
Картофель, сахарная и кормовая свекла, овощные культуры	7	20–25
Сенокосы	5	20
Рапс яровой, редька масличная	6	10

Большое влияние на использование растениями азота из почвы оказывает содержание в ней гумуса и степень его минерализации. Так, по данным Института почвоведения и агрохимии, в условиях Республики Беларусь в расчете на 1 % гумуса сельскохозяйственные культуры из почвы усваивают в среднем 20–25 кг/га азота, т. е. при содержании гумуса в почве 2 % может быть усвоено 40–50 кг/га азота. Коэффициенты использования растениями питательных веществ из почвы во многом зависят от длины вегетационного периода. Именно поэтому значения данных показателей на много меньше у промежуточных посевов, вегетационный период которых значительно короче (75–60 дней). В расчете на 1 % гумуса промежуточные посевы используют примерно 10–12 кг/га азота, 3–4 % подвижных форм фосфатов и 5–6 % калия.

Другим важным показателем, характеризующим особенности питания растений является коэффициент использования питательных элементов из удобрений. Он рассчитывается, как правило, разностным методом по данным полевых опытов с удобрениями по следующей формуле:

$$K = [(V_y - V_o) : C] \cdot 100, \%$$

где V_y — вынос питательного элемента с урожаем на удобренном участке, кг/га; V_o — вынос питательного элемента с урожаем на контрольном (неудобренном) участке, кг/га; C — количество питательного элемента, внесенное с удобрением, кг/га.

Данный способ расчета коэффициента использования питательных веществ из удобрений имеет серьезный недостаток, так как условно принимается, что при внесении удобрений количество используемых растениями питательных элементов из почвы не изменяется, хотя это не так. Кроме того, правильнее было бы определять коэффициент использования элемента питания растениями из удобрения на фоне других питательных элементов, чем в сравнении с абсолютным контролем (без внесения удобрений). Более точно коэффициент можно определить только изотопным методом.

Варьирование коэффициентов использования растениями элементов питания из удобрений несколько меньше, чем коэффициентов использования из почвы, тем не менее, они также существенно меняются в зависимости от свойств почвы, биологических особенностей возделываемых культур, особенностей предшествен-

ников, погодных условий, форм удобрений, способа их внесения и др. Они значительно снижаются на фоне больших доз удобрений и высокой кислотности почв. При этом известкование почв повышает использование из удобрений азота и фосфора, но снижает степень усвоения калия, что объясняется проявлением антагонизма между ионами кальция и калия. Уменьшаются коэффициенты использования элементов питания при сплошном внесении удобрений, повышаются — при локальном. В меньшей степени элементы питания усваиваются из труднорастворимых форм удобрений (фосфоритная мука), в большей — из водорастворимых форм. Примерно одинаково ($K = 15-20\%$) растения усваивают фосфор из суперфосфатов, аммофоса, аммофосфата, суперфоса и несколько лучше из ЖКУ. На легких почвах фосфор из минеральных удобрений усваивается лучше, чем на связных.

В нормальные по увлажнению годы азот и калий из удобрений используются лучше, чем в засушливые.

Средние значения коэффициентов использования элементов питания из минеральных и органических удобрений при нормальных условиях выращивания приведены в табл. 8.2.

На второй год из минеральных удобрений используется 2–3 % азота, на третий — 1–1,5 % от внесенного, всего же во второй и последующие годы — около 8–10 % по сравнению с годом внесения. Поэтому при расчете доз удобрений коэффициент использования азота из минеральных удобрений в первый год принимается 60–70 %, без учета последующих лет.

При разработке системы удобрений в севообороте необходимо учитывать количество элементов питания, накопленных в пожнивных и корневых остатках (табл. 8.3), минерализация которых, особенно остатков бобовых культур, протекает интенсивно. Коэффициенты использования растениями питательных элементов из послеуборочных остатков примерно такие же, как и из органических удобрений. При этом, как правило, учитывается влияние пожнивных и корневых остатков на азотное питание растений. Так, например, из пожнивных и корневых остатков бобовых предшественников растения в течение первого, второго и третьего года используют соответственно 20–25, 15–20 и 5–10 % содержащегося в остатках азота, что является важным резервом в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

Таблица 8.2. Коэффициенты использования растениями элементов питания из минеральных и органических удобрений, %

Год действия	Минеральные удобрения			Навоз						Торфонавозные компосты (1:2)					
	подстильный		полужидкий	жидкий			Торфонавозные компосты (1:2)								
	N	P ₂ O ₅		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
1-й год	60–70	15–20*	50–60	20–25	25–30	50–60	30–35	30–35	50–60	45–50	35–40	60–65	12–20	20–25	45–50
2-й год	—	10–15	15–20	20	10–15	10–15	15–20	10	10	15–20	10	10	20	10–15	10–15
3-й год	—	5	—	10	5	—	10	5	—	5	5	—	10	5	—
За ротацию севооборота	60–70	30–40	65–80	50–55	40–50	60–75	55–65	45–60	60–70	65–75	50–55	70–75	45–50	35–40	55–65
<i>Промежуточные посеы</i>															
1-й год	40–45	10–15	40–45	20	15	45	25	15	50	30	20	55	—	—	—

* При сплошном внесении вразброс; при локальном внутрипочвенном внесении — 30–35 %.

Таблица 8.3. Количество послеуборочных остатков в пахотном слое и содержание в них элементов питания на дерново-подзолистых почвах

Культура	Урожайность, ц/га	Количество сухих послеуборочных остатков, на 1 ц основной продукции, кг	Содержание элементов питания в послеуборочных остатках, кг на 1 ц основной продукции		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
Клевер 1-го и 2-го года пользования (сено)	21–30	1,5	3,2	0,90	1,6
	31–40	1,4	3,0	0,85	1,5
	41–60	1,3	2,8	0,80	1,4
	61–70	1,2	2,6	0,70	1,3

1	2	3	4	5	6
Клевер 1-го и 2-го года пользования (сено)	21–30	1,5	3,2	0,90	1,6
	31–40	1,4	3,0	0,85	1,5
	41–60	1,3	2,8	0,80	1,4
	61–70	1,2	2,6	0,70	1,3
	21–30	1,5	2,9	1,10	2,5
Бобово-злаковые многолетние травы (клевер + тимофеевка) 1-го и 2-го года пользования (сено)	31–40	1,4	2,8	1,00	2,3
	41–60	1,3	2,6	0,90	2,15
	61–70	1,2	2,4	0,90	2,0
	21–30	1,6	2,9	1,33	3,7
	31–40	1,5	2,7	1,25	3,5
Тимофеевка 1-го и 2-го года пользования (сено)	41–60	1,4	2,5	1,10	3,2
	61–70	1,3	2,3	1,00	3,0
	16–20	1,5	0,90	0,41	1,6
	21–25	1,4	0,85	0,38	1,5
	26–30	1,3	0,75	0,35	1,4
Озимые зерновые (зерно)	31–35	1,2	0,72	0,32	1,25
	Более 36	1,1	0,65	0,30	1,15
	11–20	1,3	0,91	0,44	1,95
	21–30	1,2	0,84	0,41	1,80
	31–35	1,1	0,77	0,37	1,65
Яровые зерновые (зерно)	35–40	1,0	0,70	0,34	1,50
	Более 40	0,9	0,63	0,30	1,35

Горох (зерно)	11–20	1,3	2,35	0,47	1,43
	21–30	1,2	2,17	0,43	1,32
	31–35	1,1	2,00	0,40	1,21
Кукуруза на силос (зеленая масса)	150–250	0,14	0,09	0,040	0,22
	251–350	0,12	0,07	0,030	0,19
	351–400	0,10	0,06	0,026	0,15
	Более 400	0,09	0,05	0,020	0,14
	101–200	0,13	0,09	0,03	0,32
Картофель (клубни)	201–300	0,12	0,08	0,025	0,30
	300	0,11	0,07	0,02	0,27
	101–150	0,19	0,66	0,14	0,38
	151–200	0,18	0,63	0,13	0,36
	201–300	0,17	0,60	0,12	0,34
Люпин на зеленую массу	Более 300	0,16	0,56	0,11	0,32
	11–15	4,4	5,3	1,32	7,20
	16–20	4,3	5,15	1,29	7,00
	21–25	4,2	5,00	1,26	6,90
	26–30 и более	4,1	4,9	1,23	6,70

Простейшие расчеты показывают, что при урожайности сена на уровне 40 ц/га в поукосных и корневых остатках клевера лугового накапливается около 120 кг/га азота. И если первой зерновой культурой, возделываемой после клевера, будет использовано 25 % этого азота, т. е. 30 кг/га, то ее урожайность возрастет примерно на 1 т/га. Такое количество биологического азота будет эквивалентно количеству азота, которое растения используют из 50 кг минерального удобрения.

8.2.2. Факторы, учитываемые при определении доз удобрений

Эффективность применения удобрений определяется, прежде всего, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и особенностями их питания в различные периоды вегетации. Различают несколько периодов поступления питательных элементов в растения. Первый период — от прорастания семян до 10–15 дней после появления всходов. В это время корневая система растений развита слабо, и они чрезвычайно чувствительны как к недостатку питательных элементов в доступной форме (особенно фосфора), так и к высокой их концентрации в почве. При прорастании семян элементы питания в почве должны находиться в доступной форме и невысокой концентрации. Данный период для большинства растений считается критическим по отношению к фосфору, поэтому содержание фосфора должно преобладать над содержанием азота и калия.

В следующий период у растений усиленно развивается вегетативная масса, формируются плоды (огурцы, салат, капуста). Корневая система растений хорошо развита. Растения интенсивно потребляют и накапливают питательные элементы.

Во время интенсивного образования репродуктивных органов растения чаще всего снижают темпы поглощения питательных элементов, однако интенсивность процессов синтеза по-прежнему остается высокой. Биосинтез идет за счет повторного использования уже поглощенных элементов питания и их оттока из листьев к репродуктивным органам (местам отложения). Такое явление называется реутилизацией.

В конце вегетации часть элементов питания растений теряется с опадающими листьями и в результате оттока из корневой системы в почву. Разные культуры и сорта имеют разные по продолжительности периоды вегетации и различные по интенсивности поглощения элементов питания этапы роста и развития. У льна, конопли, яровых зерновых период вегетации короткий. Яровые зерновые основное количество питательных элементов поглощают в период от кущения до колошения. Лен-долгунец потребляет к началу бутонизации (через семь недель после всходов) 60 % азота, 50 — фосфора и 70 % калия, при этом около половины этого количества питательных элементов усваивается впервые 10 дней быстрого роста; от начала бутонизации и до конца цветения (за три недели) поглощается 40 % азота, 50 — фосфора и 30 % калия. Конопля три четверти элементов питания поглощает в период от начала бутонизации до начала цветения. Под эти культуры удобрения лучше вносить до или во время посева, подкормки малоэффективны, так как внести удобрения летом в зону корней без повреждения растений невозможно.

У свеклы, картофеля, кукурузы, капусты, огурцов, лука, моркови период вегетации больше, и максимальное количество элементов питания они поглощают во второй половине роста и развития. Поэтому на посевах этих культур кроме основного внесения удобрений проводят подкормки с заделкой азотных и калийных удобрений в зону активных корней.

Существенное влияние на потребление питательных веществ оказывают сортовые особенности растений. Например, среднеспелые сорта картофеля к фазе цветения потребляют азота, фосфора и калия в 1,5–2 раза меньше, чем ранние сорта, поэтому подкормка ранних сортов менее эффективна.

Вместе с тем скороспелые сорта и культуры с коротким периодом вегетации более требовательны к условиям питания. Они лучше отзываются на внесение удобрений в легкодоступной форме. Культуры с продолжительным периодом вегетации и позднеспелые сорта менее требовательны к условиям питания, лучше используют питательные элементы из органических удобрений, запасов почвы и труднодоступных форм удобрений. Лучше всего отзываются на высокий агрофон и повышенные дозы удобрений сорта интенсив-

ного типа. Вместе с тем они плохо растут и дают низкий урожай на бедных почвах.

Большое влияние на эффективность применения удобрений оказывает концентрация почвенного раствора. При этом разные сельскохозяйственные культуры к высоким концентрациям почвенного раствора относятся по-разному. Их хорошо переносят озимые рожь и пшеница, ячмень, овес, картофель, капуста, помидоры. Именно поэтому полную дозу минерального удобрения под эти культуры можно вносить одновременно с посевом (посадкой), а также заделывать удобрения в запас на два-три года. Нельзя вносить полные дозы удобрений при посеве и в запас под лен, горох, кукурузу, свеклу, огурцы, морковь, землянику.

На эффективность удобрений существенно влияет водный режим почвы. При недостаточном увлажнении снижается в первую очередь эффективность азотных и калийных удобрений. Эффективность фосфорных удобрений при недостатке влаги снижается в меньшей степени. Недостаток влаги в июне-июле приводит к уменьшению урожайности картофеля на 20–90 ц/га, зерновых культур — на 2–10 ц/га. Для озимых зерновых очень важно хорошее снабжение влагой в период всходов. При увеличении запасов продуктивной влаги в почве в слое 0–20 см в сентябре от 20 до 60 мм урожайность растет, свыше 60 мм — падает.

Для корректировки доз азотных весенних подкормок при возделывании озимых зерновых культур на минеральных почвах без применения искусственного орошения и доз азота в основную заправку под яровые зерновые культуры учеными разработаны специальные графики (рис. 8.1 и 8.2).

На этих графиках различные сочетания осенних и зимних осадков образуют три зоны (I, II и III). При этом количество осадков за осенний период K_o откладывается на вертикальной оси графика, за зимний и ранневесенний периоды K_v — по горизонтальной. Пересечение перпендикуляров от точек количества осадков располагается в одной из зон графика с соответствующей поправкой к расчетной дозе азота. Зона II отражает условия увлажнения для дозы азота с учетом предшественников, агрохимических свойств почвы, состояния посевов и т. д. для запланированного урожая.

Если точка пересечения количества осадков попадает в зону I, то доза азота уменьшается; если в зону III, то увеличивается (но не

выше определенного для заданного уровня урожайности верхнего предела дозы). Дозы фосфорных и калийных удобрений корректируются по скорректированным дозам азотных удобрений. Если прогнозируется засушливое лето, соотношение удобрений изменяется в сторону увеличения фосфорных и калийных.



Рис. 8.1. Поправки к расчетным дозам весенней азотной подкормки озимых зерновых культур в зависимости от количества осадков за осенне-зимний период

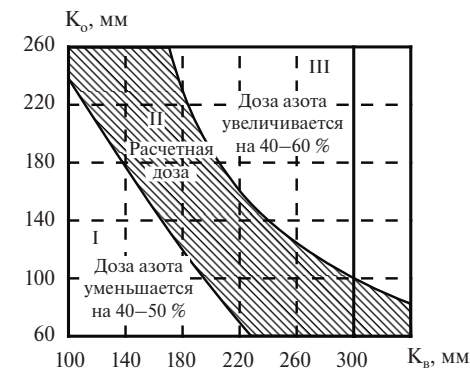


Рис. 8.2. Поправки к расчетным дозам азотных удобрений в основное внесение (по фону $P_{40-80} K_{40-80}$) под яровые зерновые культуры в зависимости от количества осадков в осенне-зимний период

Урожайность ячменя возрастает при увеличении количества осадков в фазах кушения — колошения с 70 до 120 мм и уменьшается, если осадков выпало свыше 120 мм или меньше 20 мм.

Эффективность применения удобрений во многом зависит от агротехнических условий возделывания растений. В том числе от: особенностей предшествующей культуры; известкования кислых почв; степени окультуренности полей (мощности пахотных горизонтов, агрохимических показателей почв, особенностей их водного и воздушного режимов);

наличия дренажа у избыточно увлажненных торфяных и минеральных почв;

уровня борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений;

соблюдения оптимальных сроков сева;
 возделывания высокопродуктивных сортов;
 применения прогрессивных приемов обработки почвы.

Агротехнические условия, обеспечивающие более высокую эффективность применения удобрений, легче соблюсти в условиях севооборотов. При правильном чередовании культур растения полнее используют питательные элементы из почвы и удобрений. В севообороте легче и успешнее проводится борьба с сорняками, вредителями и болезнями растений, можно более точно рассчитать дозы удобрений под отдельные культуры и в запас.

Важным агротехническим требованием, существенно влияющим на эффективность удобрений, является оптимальный срок сева. Например, при запаздывании с посевом яровых зерновых культур на 5 дней эффективность полного минерального удобрения снижается на 10 %. Задержка со сроками посева в 10 дней приводит к снижению урожайности на 13 %, 15 дней — на 35; 20 дней — на 45 %. Почти так же меняется эффективность полного минерального удобрения при нарушении сроков сева озимых зерновых.

Эффективность применения удобрений во многом зависит от равномерности их распределения по полю. Неравномерность их распределения при разбросном внесении не должна превышать 15 %. При более высокой неравномерности, например 60–80 % для азотных удобрений, урожайность возделываемой культуры снижается на 45–50 %, фосфорных — на 20–25, сложных — на 30–35 %.

Следует также отметить, что отклонение от оптимального соотношения азота, фосфора и калия, вносимых с удобрениями, на 10 % приводит к недобору 2–3 % урожая, отклонение на 20 % — 9–11 %, при отклонении соотношения на 50 % теряется 60–80 % урожая.

К сожалению, на эродированных почвах необходимо вносить значительно большие дозы удобрений, чем на неэродированных. Для слабоэродированных почв дозы азотных удобрений увеличивают до 20 %, на землях, где преобладают среднеэродированные почвы, — на 30–50 %, на сильноэродированных почвах — на 50–100 %. Дозы фосфорных и калийных удобрений, на слабоэродированных почвах увеличивают на 20–30 %, средне- и сильноэродированных почвах — на 30–60 %.

8.2.3. Методы расчета доз минеральных удобрений

Уровень применения минеральных удобрений в сельскохозяйственных предприятиях определяется в первую очередь их экономическими возможностями. Тем не менее, даже в экономически слабых хозяйствах дозы удобрений должны обеспечивать получение высокой урожайности и сохранение, а при необходимости расширенное воспроизводство почвенного плодородия. Оптимальной дозой следует считать ту дозу удобрения, которая обеспечивает наибольшую урожайность и наименьшую себестоимость получаемой продукции. Именно поэтому определение агрономически оправданных и экономически обоснованных доз удобрений для каждого конкретного поля и культуры является одной из главных задач агрохимии.

При определении доз удобрений учитывают величину планируемого урожая, его качество, вынос элементов питания растениями, биологические и сортовые особенности возделываемых культур и их отзывчивость на удобрения, содержание в почве доступных для растений питательных элементов, особенности предшествующих культур и агротехники.

Для определения доз минеральных удобрений в агрохимической практике используются более 20 методов. Основными из них являются:

1. Балансовый (метод элементарного баланса). При использовании данного метода дозы минеральных удобрений определяются на основе данных о выносе элементов питания с урожаем, коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Расчеты проводятся по формуле

$$D = (100 \cdot U \cdot B - Z_n \cdot K_n) / K_y,$$

где D — доза удобрений, кг д. в./га; U — планируемая урожайность, т/га; B — удельный (нормативный) вынос элементов питания урожаем, кг/т; Z_n — запасы питательных веществ в почве, кг/га; K_n — коэффициент использования элементов питания из почвы, %; K_y коэффициент использования элементов питания из удобрений, %.

2. Определение доз удобрений по результатам полевых опытов. Полевые опыты проводят научные и учебные учреждения. На основании анализа и обобщения результатов многолетних опытов

готовятся заключения и предложения производству в виде рекомендаций и справочников по применению удобрений под сельскохозяйственные культуры на различных типах почв с учетом действия основных факторов, определяющих эффективность удобрений.

3. Нормативный метод. Согласно этому методу дозы минеральных удобрений определяют по нормативам их затрат на единицу урожая или на единицу прибавки урожая:

$$D = Y \cdot N_1 \cdot K;$$

$$D = Y \cdot N_2 \cdot K,$$

где D — доза удобрений, кг д. в./га; Y — урожайность ц/га; N_1 — норматив затрат удобрений на единицу урожая, ц/га; N_2 — норматив затрат удобрений на единицу прибавки урожая, кг/ц; K — поправка на содержание подвижных элементов питания.

4. Метод математического моделирования. Основан на математических зависимостях урожайности сельскохозяйственных культур от доз удобрений:

$$Y = f(x),$$

где Y — урожайность ц/га; x — доза удобрений, кг д. в./га.

5. Метод целенаправленного регулирования плодородия почвы. Его цель — рассчитать дозы удобрений, позволяющие не только получать запланированные урожаи сельскохозяйственных культур, но и обеспечивать поддержание, а при необходимости и расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

Расчет доз удобрений проводится по следующей формуле:

$$D = 0,1 \cdot (C_{\text{план.}} - C_{\text{факт.}}) \cdot N,$$

где D — доза удобрений, кг д. в./га; $C_{\text{план.}}$ — планируемое содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве, мг/кг; $C_{\text{факт.}}$ — фактическое содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве, мг/кг; N — нормативная доза РК сверх выноса с урожаем для увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия на 10 мг/кг, кг/га.

Нормативы затрат фосфорных и калийных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия на 10 мг/кг представлены в табл. 8.4, 8.5.

Таблица 8.4. Нормативы затрат фосфорных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного фосфора на 10 мг/кг почвы, кг/га P_2O_5

Гранулометрический состав почвы	рН _{KCl}	Исходное содержание P_2O_5 , мг/кг почвы			
		Менее 60	61–100	101–150	151–250
Суглинистые	4,5–5,0	75	69	65	69
	5,1–5,5	70	63	57	58
	5,6–6,0	65	56	49	47
Супесчаные	4,5–5,0	70	64	60	64
	5,1–5,5	65	58	52	52
	5,6–6,0	60	51	44	42
Песчаные	4,5–5,0	65	59	55	59
	5,1–5,5	60	53	47	48
Торфяные	В среднем		18		

Таблица 8.5 Нормативы затрат калийных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного калия на 10 мг/кг почвы, кг/га K_2O

Гранулометрический состав почвы	Интенсивность баланса, %	Исходное содержание K_2O , мг/кг почвы		
		Менее 80	81–140	141–200
Суглинистые	130	30	42	55
	170	40	52	65
	210	50	62	75
Супесчаные	130	47	58	72
	170	57	68	82
	210	67	78	92
Песчаные	130	58	70	83
	170	68	80	93
	210	78	90	103

8.3. Разработка планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры на ЭВМ

Система применения удобрений в севообороте — это план применения органических и минеральных удобрений, в котором предусматриваются их виды, дозы, сроки внесения и способы заделки под отдельные сельскохозяйственные культуры в зависимости от почвенно-климатических и других условий.

До 1977 г. планы применения удобрений под сельскохозяйственные культуры агрономы хозяйств Беларуси рассчитывали

вручную, используя для определения доз удобрений специальные таблицы, разработанные Т. Н. Кулаковской. Достижения агрохимической и почвенной науки позволили перейти на компьютерное составление планов применения удобрений. С 1977 г., представляя в Республиканский вычислительный центр исходные данные, все хозяйства стали получать планы применения удобрений, разработанные на ЭВМ. Это позволило перейти к дифференцированному распределению удобрений по полям, что способствовало повышению эффективности их использования, а также целенаправленному регулированию почвенного плодородия. В настоящее время методика и компьютерные программы для расчета системы удобрения усовершенствованы с учетом новых агрохимических разработок в области плодородия почв, питания растений, технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Компьютерные программы разработаны для персональных ЭВМ. Хозяйства и фермеры могут заказать разработку плана применения удобрений в областных проектно-исследовательских станциях по химизации сельского хозяйства или, используя программу, составлять его самостоятельно на ПЭВМ.

Для разработки системы удобрения сельскохозяйственных культур на ПЭВМ используются новейшие данные полевых опытов с удобрениями на различных почвах в основных почвенно-климатических зонах, а также данные агрохимического обследования почв (содержание подвижных форм макро- и микроэлементов, органического вещества, реакция почвы).

Для расчета системы удобрения сельскохозяйственных культур на ПЭВМ используются следующие входные документы: Размещение посевов и планируемая урожайность сельскохозяйственных культур; Количество и ассортимент минеральных удобрений (табл. 8.6).

В форме «Размещение посевов...» указываются данные по полям и входящим в них элементарным участкам (площадь и номера) и возделываемым на них сельскохозяйственным культурам с указанием планируемой урожайности, сведения о предшественнике и внесении органических удобрений под предшественник и удобряемую культуру. Агрохимические свойства почв удобряемых участков (рН в КС1, содержание P_2O_5 , K_2O , гумуса, меди, бора, цинка) берутся из банка данных.

Таблица 8.6. Количество и ассортимент минеральных макро- и микроудобрений, подлежащих распределению

Хозяйство _____ Район _____
Область _____ Код хозяйства _____

Виды и формы удобрений	Код удобрения	Количество	
		кг д. в.	Физический вес, кг
	00	00000	000000
Азотные (наличие, всего)			х
Формы:			
Фосфорные (наличие, всего)			х
Формы:			
Калийные (наличие, всего)			х
Формы:			
Микроудобрения (наличие, всего)			

Разрабатываемый на ПЭВМ план применения удобрений включает потребность в минеральных удобрениях на планируемый урожай; корректировку ее с учетом ресурсов удобрений в хозяйстве; распределение физических объемов минеральных удобрений в зависимости от форм; потребность в микроудобрениях.

Дозы азотных, фосфорных, калийных удобрений рассчитываются балансовым методом с использованием коэффициентов возмещения выноса. Коэффициент возмещения выноса питательных элементов урожаем (K_v) определяется как отношение оптимальной дозы удобрения (D_{opt}) по результатам полевых опытов (кг/га д. в.) к выносу питательных элементов урожаем (V_{opt}) в оптимальном варианте ($K = D_{opt} : V_{opt}$). Аналогичные коэффициенты применяются в странах Западной Европы (Германия, Польша). Величина коэффициентов возмещения зависит от типа и гранулометрического состава почв, запасов в них фосфора и калия, биологических особенностей культур. В память ЭВМ введены коэффициенты возмещения для 108 сельскохозяйственных культур.

Дозы азотных удобрений (D_N) рассчитываются по формуле:

$$D_N = \left[\frac{B_N \cdot Y \cdot K_v}{1000} - (H_o T_o + H_1 T_1) \right] - K_x,$$

где B_N — нормативный вынос элемента с урожаем (10 ц основной и соответствующее количество побочной продукции), кг; Y — планируемая урожайность,

ц/га; K_B — коэффициент возмещения выноса азота, %; H_0 — доза органических удобрений, внесенная под возделываемую культуру, т/га; T_0 — количество азота, используемое растениями из 1 т органических удобрений в год их внесения, кг; H_1 — доза органических удобрений, внесенная под предшествующую культуру, т/га; T_1 — количество азота, используемое растениями из 1 т органических удобрений на второй год после внесения, кг; K — поправка, учитывающая предшествующую культуру (если предшественником были многолетние и однолетние бобовые травы $K_x = 20$ кг/га, бобово-злаковые травосмеси и зернобобовые — $K_x = 10$ кг/га).

Формула для расчета доз *фосфорных удобрений* ($D_{P_2O_5}$):

$$D_{P_2O_5} = \left[\frac{B_{P_2O_5} \cdot U \cdot K_B}{1000} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) \right] \cdot K_{pH},$$

где K_{pH} — коэффициент корректировки дозы в зависимости от кислотности почв (при pH менее 5 $K_{pH} = 1,2$, pH 5,1–5,5 $K_{pH} = 1,1$).

Формула для расчета доз *калийных удобрений* (D_{K_2O}):

$$D_{K_2O} = \left[\frac{B_{K_2O} \cdot U \cdot K_B}{1000} - (H_0 T_0 + H_1 T_1) \right] \cdot K_{pH} \cdot K_{рад},$$

где K_{pH} — коэффициент корректировки доз в зависимости от кислотности почв. Применяется при расчете доз под лен, картофель, люпин (при pH 5,6–6 $K_{pH} = 1,1$, при pH 6,1 — $K_{pH} = 1,2$); $K_{рад}$ — коэффициент корректировки доз в зависимости от уровня радиационного загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90. На минеральных почвах с содержанием K_2O менее 200 мг/кг, на торфяно-болотных — менее 600 мг/кг с плотностью загрязнения цезием-137 более 5 Ки/км², стронцием-90 — более 0,3 Ки/км² $K_{рад} = 1,5$.

Коэффициенты возмещения выноса азота рассчитаны с учетом влияния азотных удобрений на урожай и качество продукции. Поскольку зависимость между уровнем удобрений и урожайностью носит нелинейный характер, при расчете доз выделяется зона оптимума азота, обеспечивающая высокие урожаи при хорошем качестве продукции. С учетом этого введены экологические ограничения доз азотных удобрений (табл. 5.6).

Оптимальные дозы азота при сбалансированном внесении фосфорных и калийных удобрений обеспечивают урожайность зерновых культур 60–80 ц/га, картофеля — 350–400, кормовых корнеплодов — 800–1000, капусты — 800, свеклы столовой и морко-

ви — 600, томатов, огурцов, лука и зеленных — 350 ц/га. Более высокий уровень урожайности должен быть получен не увеличением доз азотных удобрений, а за счет повышения почвенного плодородия, комплексного применения удобрений, средств защиты растений и регуляторов роста, совершенствования агротехнических приемов, улучшения сортов и т. д.

На почвах с содержанием P_2O_5 и K_2O 200–300 мг/кг дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются таким образом, чтобы компенсировать вынос этих элементов с урожаем, при более высоких запасах фосфора и калия (300–400 мг/кг почвы) — чтобы обеспечить питание растений легкодоступными фосфором и калием в начальный период развития (10–30 кг/га P_2O_5 или K_2O). При содержании в почве фосфора и калия более 400 мг/кг применение фосфорных и калийных удобрений не предусматривается. На бедных почвах (менее 200 мг/кг) дозы фосфора и калия должны обеспечивать планируемый урожай сельскохозяйственных культур и повышение содержания этих элементов на 10–40 мг/кг почвы за ротацию пятипольного севооборота.

Опыты с озимыми зерновыми культурами показывают, что на почвах с невысоким уровнем плодородия эффективно предпосевное внесение азотных удобрений. Поэтому на ЭВМ отдельно рассчитываются дозы для осеннего внесения азота (30 % от общей). Его используют в следующих случаях: при возделывании озимых зерновых на дерново-подзолистых суглинистых почвах с содержанием гумуса менее 2 %, супесчаных и песчаных — менее 1,8 %; при размещении после небобовых предшественников; если нет действия или последствий органических удобрений (под предшественник или озимую культуру). Несоответствие любому из перечисленных пунктов исключает необходимость осеннего внесения азота под озимые зерновые культуры.

Агроном хозяйства может уточнять дозу азота для осеннего внесения по данным почвенной диагностики, весеннего — по данным растительной.

Расчетные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры корректируются с учетом имеющихся в хозяйстве видов и форм удобрений. Дозы фосфорных и калийных удобрений корректируются исходя из приоритетности слабообеспеченных почв, азотных — в соответствии с общим коэффициентом обеспечен-

ности. При распределении конкретных форм и видов минеральных удобрений учитываются особенности почвенных условий и культур. Алгоритм распределения предусматривает подбор наиболее эффективной формы каждого вида удобрения под удобряемую культуру по основным срокам внесения. Разработан специальный справочник приоритетных форм минеральных удобрений для 12 основных групп сельскохозяйственных культур: озимые зерновые, озимые крестоцветные; яровые зерновые, яровые зерновые с подсевом трав, кукуруза; лен, конопля, зернобобовые, бобово-злаковые смеси на зеленую массу; гречиха; картофель; сахарная и кормовая свекла, турнепс, семенники крестоцветных; овощи открытого грунта; многолетние злаковые травы (семена, сено), сенокосы; однолетние и многолетние бобовые травы, галега восточная, донник; однолетние злаковые травы; пастбища; сады, ягодники. Например, для озимых зерновых культур лучшими формами удобрений для основного внесения являются аммофос, аммофосфат, ЖКУ, суперфосфат, суперфос, для первой ранне-весенней подкормки — КАС, КАС с медью, селитра аммиачная, карбамид, сульфат аммония, для второй подкормки в период начала трубкования — КАС с медью, селитра аммиачная, карбамид, КАС.

Система удобрения сельскохозяйственных культур, рассчитанная на ЭВМ, содержит рекомендации по применению медных, борных, цинковых и молибденовых микроудобрений.

Внесение *борных удобрений* предусматривается на дерново-подзолистых, дерново-глеевых и торфяных почвах под лен, сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, зернобобовые, картофель, крестоцветные, семенные посевы многолетних бобовых трав; *медьсодержащих удобрений* — на дерново-подзолистых и торфяных почвах под озимые и яровые зерновые, картофель, многолетние злаковые травы; *цинковых удобрений* — на дерново-подзолистых почвах под кукурузу, лен, многолетние бобовые и злаковые травы; *молибденовых* — на дерново-подзолистых почвах на семенных посевах многолетних бобовых трав. При расчете конкретной дозы учитывается потребление растениями микроэлементов из органических удобрений.

В расчетах, сделанных для хозяйства, указываются дозы органических удобрений, планируемыми для внесения под предшественник, а также оптимальные дозы минеральных макро- и микроудобрений в основное внесение и в подкормки.

Общее количество удобрений по полям и есть потребность хозяйства в минеральных удобрениях. В выходном документе расчетные дозы минеральных удобрений корректируются с учетом имеющихся в хозяйствах видов и форм удобрений. Дозы микроудобрений для внесения в почву приводятся в килограммах действующего вещества на 1 га (кг/га д. в.), для некорневой подкормки — в граммах действующего вещества на 1 га) (г д. в./га).

8.4. Баланс гумуса и элементов питания в севообороте

Баланс гумуса. Роль гумуса велика и многогранна. Она заключается в положительном влиянии его на свойства почвы и питательный режим, а также на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Потери гумуса в почвах свидетельствуют о несбалансированности земледелия, которые могут привести к деградации плодородия почв, и последующему снижению продуктивности почвы.

В настоящее время средневзвешенное содержание гумуса в почве на пашне в Беларуси составляют 2,26 % и изменяется от 1,88 % в Гродненской области до 2,46 % в Витебской области.

Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ имеют средневзвешенное состояние гумуса в почве 2,73 % и оно по областям изменяется от 2,40 % в Могилевской до 2,93 % в Брестской.

В настоящее время важно не только сохранить, но и повысить запасы гумуса в почве. Пути решения проблемы — увеличение применения органических удобрений, регулирование соотношения пропашных культур и многолетних трав в структуре посевных площадей, возделывание промежуточных пожнивных и поукосных культур, применение почвозащитных приемов, уменьшающих минерализацию гумуса и его потери с водной эрозией и дефляцией.

При недостаточном содержании гумуса в почве возрастает роль структуры посевных площадей. Пропашные культуры характеризуются тем, что оставляют в почве небольшое количество поживно-корневых остатков. Многолетние травы, особенно бобовые, оставляют в почве наибольшее количество поживно-корневых остатков и обогащают почвы органическим веществом. Однолетние травы сплошного сева, зерновые, рапс, гречиха и зернобобовые занимают промежуточное положение.

Сложность определения баланса гумуса состоит в том, что в почве одновременно происходит два разнонаправленных процесса: синтез и распад органического вещества. При преобладании процессов синтеза над распадом баланс гумуса будет положительным, при равнозначности этих процессов — бездефицитным, а преобладание процессов распада — отрицательным.

Потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве пахотных земель определяется на основании соотношения между пропашными культурами и многолетними травами, чем меньше многолетних трав приходится на 1 га пропашных, тем выше должны быть дозы применения органических удобрений. В настоящее время на пахотных почвах республики доля пропашных составляет 23,4 %, многолетних трав — 17,4 %, а отношение многолетние травы: пропашные — 0,7. При таком соотношении для поддержания бездефицитного баланса гумуса на пахотных почвах республики необходимо применять 12,5 т/га органических удобрений в пересчете на условный навоз.

Имея данные по содержанию гумуса в дерново-подзолистых почвах до разработки системы удобрения в севообороте, процент пропашных и многолетних трав, определив потребность в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в зависимости от гранулометрического состава почвы РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» разработаны нормативы расчета дополнительной потребности в органических удобрениях для оптимизации его содержания в зависимости от гранулометрического состава и содержания гумуса, а также сколько образуется кг гумуса с 1 т органических удобрений на разных почвах.

На основании данных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв, содержания в них гумуса, % пропашных и многолетних трав в севообороте с учетом нормативов, разработанных РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», можно спрогнозировать изменение содержания гумуса в почве за ротацию севооборота.

Расчет баланса гумуса в почве производится по форме таблицы 8.7 путем сопоставления проектируемого внесения органических удобрений на 1 га севооборотной площади с требуемым для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве.

Таблица 8.7. Баланс гумуса в пахотном слое почвы в севообороте

Почва, процент пропашных культур в севообороте	Содержание гумуса до разработки системы удобрения, %	Требуемая насыщенность органическими удобрениями для бездефицитного баланса гумуса, т/га	Планируется вносить органических удобрений, т/га	Баланс гумуса в почве за год, кг/га	Прогнозируемое содержание гумуса через ротацию севооборота, %
Суглинистая, 10 %	1,55	10	12	100	1,58

Например, почва в севообороте дерново-подзолистая легкосуглинистая, содержит гумуса 1,55 %. В структуре посевных площадей 10 % пропашных культур и 15 % многолетних трав. По нормативам для бездефицитного баланса гумуса необходима насыщенность органическими удобрениями 10 т/га (табл. 8.8). Проектируется внести их 12 т/га, т. е. сверх норматива будет вноситься 2 т/га, из которых образуется 100 кг/га гумуса в год ($50 \cdot 2 = 100$) (табл. 8.9).

Таблица 8.8. Нормативы потребности в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах, т/га

Почвы	% пропашных культур											
	10				20				30			
	% многолетних трав											
1	15	20	30	40	15	20	30	40	15	20	30	40
Дерново-подзолистые:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
суглинистые	10	9	7	6	14	13	11	10	16	15	13	12
супесчаные	12	11	9	8	16	15	13	12	18	17	15	14
песчаные	14	13	11	10	19	18	16	15	—	—	—	—

Таблица 8.9. Нормативы дополнительной потребности в органических удобрениях для достижения положительного баланса гумуса, т/га

Содержание гумуса	Гранулометрический состав почвы			
	Суглинистые	Супесчаные, подстилаемые мореной	Супесчаные, подстилаемые песком	Песчаные
До 1,50 %	3,0	3,4	3,8	4,3
1,51–2,00 %	2,0	2,3	2,6	3,0
2,01–2,50 %	1,0	1,2	1,4	1,7
Более 2,50 %	0,5	0,6	—	—

С 1 т органических удобрений в год образуется гумуса: на суглинистых почвах 50 кг, супесчаных, подстилаемой мореной — 45, супесчаных, подстилаемых песком — 40 и песчаных 35 кг. В 9-польном севообороте за ротацию прирост гумуса будет равен 900 кг/га (или 0,03 % к массе почвы):

$$\frac{\text{Масса гумуса } 900 \text{ кг} \cdot 100}{\text{Масса почвы } 3\,000\,000 \text{ кг}} = 0,03 \%$$

Исходное содержание гумуса в почве — 1,55 %. За ротацию севооборота оно возрастет до 1,58 %.

Существует ряд других расчетных методов баланса гумуса в почве. Одним из таких методов является метод, разработанный кафедрой земледелия и методики опытного дела Тимирязевской сельскохозяйственной академии (А. М. Лыков, 1976), который является очень сложным и трудоемким и учитывает основные факторы гумусообразования в дерново-подзолистых почвах. Однако данный метод по ряду основных положений также требует уточнения в конкретных почвенных условиях.

Наиболее важным и надежным показателем гумуса в почве являются материалы крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель. Сравнивая содержание гумуса в почве за период между турами агрохимического обследования каждого поля хозяйства, можно судить о темпах накопления или потерь органического вещества. Вместе с тем для прогноза динамики содержания гумуса в почве следует использовать расчетные методы баланса. Расчет баланса гумуса является важнейшим показателем мониторинга почвенного плодородия.

Метод определения баланса гумуса по его фактическому содержанию в почве является наиболее достоверным. Баланс гумуса таким методом рассчитывается при наличии сопоставимых материалов по турам крупномасштабного агрохимического обследования почв. Он может быть рассчитан на отдельно удобряемых участках, полях, в хозяйствах, районах, областях и в целом для Республики Беларусь. Метод может использоваться и в научных исследованиях для расчета баланса гумуса за ротацию или звено севооборота.

При расчете баланса гумуса данным методом рассчитываются и сопоставляются фактические запасы гумуса в пахотном слое почвы в начале и в конце определяемого периода по формулам

$$Z_h = \Gamma \cdot h \cdot M_v;$$

$$Z_h = \Gamma \cdot M : 100,$$

где Z_h — запас гумуса в пахотном слое почвы, т/га; Γ — содержание гумуса в почве, %; h — мощность (глубина) пахотного слоя почвы, см; M_v — плотность сложения почвы, г/см³; M — масса пахотного слоя, т/га.

Средние величины плотности сложения и массы пахотного слоя дерново-подзолистых почв приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10. Средняя плотность сложения и масса пахотного слоя дерново-подзолистых почв

Почва	Средняя плотность сложения почвы (M_v), г/см ³	Средняя масса пахотного слоя (M), т/га	
		0–25 см	0–30 см
Суглинистая	1,20	3000	3700
Супесчаная	1,30	3250	3900
Песчаная	1,40	3500	4200

Баланс гумуса определяется по формуле

$$B_r (\pm) = (\Gamma_2 - \Gamma_1) \cdot h \cdot M_v,$$

где B_r — баланс гумуса, т/га; Γ_2 и Γ_1 — содержание гумуса в конце и начале ротации севооборота, %.

Баланс элементов питания. Под биологическим круговоротом элементов питания на Земле понимается совокупность процессов поступления химических элементов из почвы и атмосферы в живые организмы, биохимический синтез новых сложных соединений и возвращение элементов в почву и атмосферу с ежегодным растительным опадом части органического вещества, остатков корней.

Для оптимизации питания растений очень важно оценить направленность круговорота биогенных элементов и степени интенсивности антропогенного воздействия на систему почва — растение по балансу элементов питания в агроценозе. Агрохимия, с одной стороны, исследует влияние разных типов почв и удобрений на обмен веществ в растениях, на формирование урожая, его величину

и качество, с другой — изучает влияние растений на плодородие почвы, взаимоотношения почвы и удобрений. В связи с этим одной из задач агрохимии является изучение круговорота элементов питания в земледелии.

Создание необходимых условий для рационального круговорота питательных веществ в земледелии, их положительный баланс на почвах, недостаточно плодородных, и бездефицитный на окультуренных — важнейшая задача агрохимии.

Оценка состояния баланса элементов питания в системе почва—растение—удобрение является важной характеристикой эффективности использования минеральных и органических удобрений в сельскохозяйственном производстве.

Показатели баланса отражают пути превращения и расхода элементов питания минеральных и органических удобрений, долю элементов питания, продуктивно используемую и отчуждаемую растениями из почвы и воспроизводимую за счет органических и минеральных удобрений. Баланс элементов питания в системе почва—растение—удобрение составляет часть общего процесса взаимодействия элементов питания и относится к малому биологическому круговороту.

Баланс — термин, заимствованный из экономики, который характеризует равенство прихода и расхода.

Баланс элементов питания — это математическое выражение круговорота элементов питания в земледелии. Определение баланса питательных элементов является научной основой планирования и прогнозирования применения минеральных удобрений, позволяет целенаправленно регулировать плодородие, предохранять окружающую среду от загрязнения удобрениями. Баланс основных элементов питания отражает степень интенсификации сельскохозяйственного производства.

Баланс элементов питания в системе удобрение—почва—растение оценивается по разности между суммарным их количеством, поступившим в почву и отчуждаемым из нее. Таким образом, баланс питательных элементов в почве состоит из приходной и расходной частей. В приходную часть баланса входит поступление питательных элементов в почву с удобрениями, семенами, из атмосферы, в том числе азот, продуцируемый клубеньковыми бактериями бобовых культур (симбиотический) и свободноживущими бактерия-

ми — азотфиксаторами (несимбиотический азот). Расходная часть баланса включает хозяйственный вынос питательных элементов (с отчуждаемой с поля частью урожая), потери элементов питания из почвы и удобрений с поверхностными водами от вымывания, эрозии, испарения и газообразные потери (азота).

В результате сельскохозяйственного использования почвы претерпевают существенные изменения, при этом изменяется интенсивность процессов превращения и миграции элементов питания, потребления и вынос их растениями. Величина потребления и потерь элементов питания зависит от гранулометрического состава и степени окультуренности почвы, характера ее сельскохозяйственного использования, вида, доз и сроков использования удобрений, агротехнических приемов и других условий. Это делает необходимым периодическое уточнение приходных и расходных статей баланса элементов питания. Для объективной характеристики степени обеспеченности планируемых урожаев элементами питания целесообразно иметь балансовые расчеты не менее чем за 5 лет.

Различают несколько видов баланса питательных элементов: биологический (полный или экологический), внешнехозяйственный, хозяйственный, дифференцированный и эффективный.

Биологический (полный) баланс дает полное представление о круговороте элементов, так как учитывает все источники поступления питательных элементов в почву (с удобрениями, семенами, из атмосферы, биологический азот) и все статьи расхода элементов питания (вынос с основной и побочной продукцией, отчуждаемой с поля, содержание в корневых и послеуборочных остатках, поверхностный сток, вымывание и газообразные потери).

При *внешнехозяйственном балансе* сопоставляются количество питательных элементов, отчуждаемое с территории хозяйства с товарной продукцией растениеводства и животноводства, и поступление их с минеральными удобрениями, комбикормами, органическими удобрениями, приобретаемыми хозяйством (торф, сапропели, лигнин, торфо-навозные компосты и др.). На внешнехозяйственный баланс влияет специализация хозяйства. Так, в хозяйствах, специализирующихся на производстве продукции животноводства и использующих собственные корма, с органическими удобрениями в почву возвращается 80–90 % калия, 60–70 фосфора и 40–50 % азота, вынесенных с кормами. В хозяйствах зернового

направления с территории хозяйства отчуждается 60–80 % азота, 70–85 фосфора и 15–35 % калия от вынесенных урожаем.

Дифференцированный — при расчетах этого вида баланса количество минеральных удобрений относится не на всю площадь земель, а только на площадь их первоочередного использования.

Эффективный — определяется с учетом возможных коэффициентов использования элементов питания в год их внесения или за ротацию севооборота.

Баланс элементов питания оценивается показателями дефицита элементов питания или их избытком, интенсивностью, структурой, емкостью, реутилизацией и утилизацией.

Дефицит или *избыток* элементов питания представляет разницу между всеми источниками их поступления и расхода и выражается в абсолютных (кг, т) или относительных величинах на всю площадь или единицу площади.

Емкость — сумма выноса из почвы и всех статей возмещения элементов питания. Она характеризует мощность круговорота веществ. Чем больше емкость, тем интенсивнее земледелие в исследуемом регионе, области, хозяйстве.

Структура — характеризует долевое участие отдельных статей прихода и расхода элементов питания. Анализ структуры баланса позволяет оценить источники поступления, затраты на производство единицы продукции.

Реутилизация — определяется как отношение поступления в почву элементов питания с органическими удобрениями к выносу их урожаем, т. е. реутилизация характеризует повторное использование элементов питания, поступивших с минеральными удобрениями, через растениеводческую продукцию (корм животных, солома), прошедшую через животноводческие фермы и возвращаемую на поле в виде навоза.

Для характеристики баланса используется также показатель *интенсивности баланса* — отношение поступления элементов питания к их расходу. Интенсивность баланса выражается в процентах или коэффициентами. Величина интенсивности баланса менее 100 % характеризует дефицитный, 100 % — бездефицитный и более 100 % — положительный баланс.

Дефицитный баланс питательных элементов (превышение расхода над поступлением) предупреждает о том, что происходит истощение почв, снижение их плодородия.

Отчуждение из сферы сельскохозяйственного производства азота, фосфора и калия с товарной продукцией растениеводства и животноводства необходимо в полной мере компенсировать внесением минеральных удобрений.

В практике агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства, а также в научных исследованиях наиболее широко применяется расчет хозяйственного баланса.

Хозяйственный баланс питательных элементов составляется для оценки системы применения удобрений. Приведем методику его расчета, разработанную Институтом почвоведения и агрохимии. *Приходные статьи* баланса: поступление питательных элементов с минеральными удобрениями; с органическими удобрениями; симбиотический азот; с семенами; с атмосферными осадками; несимбиотический азот. *Расходные статьи* баланса элементов питания: вынос планируемыми урожаями; потери от вымывания (выщелачивания); потери от эрозии почв; газообразные потери азота.

Хозяйственный баланс элементов питания определяется как разность между суммами приходной и расходной статей и выражается в килограммах на гектар (кг/га):

$$B_{\text{НРК}} = (P_{\text{НРК}} + P_{\text{му}} + P_{\text{оу}} + P_{\text{о}} + P_{\text{с}} + P_{\text{б}} + P_{\text{н}}) - (R_{\text{вын}} + R_{\text{выщ}} + R_{\text{эр}} + R_{\text{г}}),$$

где $B_{\text{НРК}}$ — хозяйственный баланс азота, фосфора и калия, кг/га; *приходные статьи*: $P_{\text{НРК}}$ — приход элементов питания, кг/га (пашни, сельскохозяйственных угодий, сенокосов и пастбищ); $P_{\text{му}}$ — приход с минеральными удобрениями, кг/га; $P_{\text{оу}}$ — приход с органическими удобрениями, кг/га ($P_{\text{оу}} = N \cdot C$, где N — доза органического удобрения, т/га; C — содержание элемента питания, кг/т); $P_{\text{о}}$ — приход с осадками, кг/га; $P_{\text{с}}$ — приход с семенами, кг/га; $P_{\text{б}}$ — биологический азот, фиксированный бобовыми культурами, кг/га; $P_{\text{н}}$ — несимбиотический фиксированный азот, кг/га ($P_{\text{б}}$ и $P_{\text{н}}$ — учитываются только при расчете азота); $P_{\text{с}}$ — приход азота, фосфора и калия; *расходные статьи*: $R_{\text{вын}}$ — вынос элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур, кг/га; $R_{\text{выщ}}$ — потери от вымывания (выщелачивания), кг/га; $R_{\text{эр}}$ — потери от эрозии почв, кг/га; $R_{\text{г}}$ — газообразные потери азота, кг/га.

По данным агрохимического обследования почв Республики Беларусь (1 января 2021 г.) средневзвешенная величина $r_{\text{НКСI}}$ пахотных почв составила 5,81, содержания гумуса 2,26 %, подвижного фосфора и калия по методу Кирсанова 174 и 205 мг/кг почвы соответственно.

Таким образом, благодаря интенсивному применению удобрений и известкованию пахотные почвы Республики Беларусь по принятой градации в среднем относятся к слабокислым, имеют повышенное содержание гумуса, подвижного фосфора и калия, что является предпосылкой при интенсивном применении удобрений для получения достаточно высоких урожаев возделываемых в республике сельскохозяйственных культур.

Количество питательных элементов, поступающих с минеральными удобрениями, определяют по дозам для культур и находят среднее значение на 1 га севооборотной площади. Поступление с органическими удобрениями находят по насыщенности севооборота органическими удобрениями.

Пример. Насыщенность органическими удобрениями в севообороте составляет 12 т/га. С 1 т навоза крупного рогатого скота на соломенной подстилке поступает в почву 5,0 кг азота (табл. 8.11), а с 12 т — 60,0 кг, фосфора — 30,0 кг ($2,5 \cdot 12$), калия — 72,0 кг ($6,0 \cdot 12$).

Таблица 8.11. Поступление питательных элементов с органическими удобрениями, кг/т

Вид органических удобрений	Элементы питания					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄ *
Навоз крупного рогатого скота: на соломенной подстилке	5,0	2,5	6,0	4,0	1,1	0,2
на торфяной подстилке	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
Компост торфонавозный: 1:1	5,0	1,6	4,0	3,5	0,6	0,3
1:2	5,5	1,8	4,5	4,0	0,8	0,4
Солома (зерновые)	4,0	1,5	10,0	2,0	1,0	1,5
Навоз крупного рогатого скота жидкий	2,0	1,0	2,5	0,5	0,4	0,1
Навоз свиной жидкий	2,5	0,9	1,8	0,6	0,2	0,1
Навоз крупного рогатого скота полужидкий	3,5	1,5	4,0	1,3	0,9	0,3
Помет птичий (подстилочный)	20,0	16,5	8,5	18,0	6,0	3,5
Компост торфопометный: 1:1	10,0	8,0	3,0	9,0	3,0	1,5
1:2	12,5	10,0	4,0	10,0	4,0	2,0

* Значения определены расчетно.

Для определения количества биологического азота используют данные о величинах фиксированного из атмосферы азота, остающегося в почве после бобовых растений. Так, в расчете на 1 ц зеленой массы в почве остается симбиотического азота, сверх усвоенного растениями: после многолетних бобовых трав (кроме люцерны) — 0,35 кг, люцерны — 0,40 кг, после многолетних бобово-злаковых смесей — 0,20 кг, после однолетних бобовых трав — 0,25 кг, однолетних бобово-злаковых травосмесей — 0,20 кг. Бобово-злаковые травы сенокосов и пастбищ на 1 ц зеленой массы оставляют в почве 0,15 кг азота. На 1 ц зерна люпин в чистом виде фиксирует 5,0 кг, кормовые бобы — 3,0 кг, горох, пелюшка, вика, соя в чистом виде — 2,5 кг, люпин в смеси с зерновыми культурами — 4,5 кг, горох, пелюшка и вика в смеси с зерновыми культурами — 2,0 кг азота.

Пример. В севообороте площадью 900 га люпин занимает 100 га, клевер — 100 га. Урожайность зеленой массы люпина составляет 200 ц/га, клевера (зеленой массы) — 200 ц/га. После люпина в почве остается на 1 га 50 кг азота ($200 \cdot 0,25$), а на 100 га — 5000 кг. После клевера на 1 га остается 70 кг азота, на 100 га — 7000 кг. Сумму остающегося после люпина и клевера азота делят на площадь пашни в севообороте и находят среднее количество симбиотического азота на 1 га: $(5000 \text{ кг} + 7000 \text{ кг}) : 900 = 13,3 \text{ кг}$.

С семенами, по данным Института почвоведения и агрохимии, в среднем поступает 3 кг/га N, 1,3 кг/га P₂O₅, 1,5 кг/га K₂O, 0,3 кг/га CaO, 0,1 кг/га MgO, 0,2 кг/га S. С атмосферными осадками поступает 9,4 кг/га N, 0,5 кг/га P₂O₅, 10,3 кг/га K₂O, 25,3 кг/га CaO, 5,0 кг/га MgO и 36 кг/га S (SO₄). Поступление азота, фиксированного свободноживущими бактериями, при расчете баланса на пахотных и лугопастбищных угодьях в Республике Беларусь принимается на уровне 15 кг/га в год.

При расчете расходных статей баланса вначале определяют вынос питательных элементов планируемыми урожаями, затем определяют значения выноса основных питательных элементов в среднем на 1 га севооборотной площади. Потери элементов питания от вымывания (выщелачивания) и от эрозии почв приведены в табл. 8.12.

Таблица 8.12. Потери элементов питания от вымывания и эрозии на пахотных почвах, кг/га

Почвы	Элементы питания					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
<i>Потери от вымывания</i>						
Дерново-подзолистые:						
суглинистые	16	0,2	11	64	13	24
супесчаные на морене	18	0,1	20	65	14	25
супесчаные на песке	20	0,1	26	69	15	26
песчаные	39	0,1	33	78	25	34
Торфяные	39	0,1	10	122	17	37
<i>Потери от эрозии</i>						
Степень эродированности почвы:						
слабая	5	2	3	5	2	0,05
средняя	10	4	6	10	5	0,10
сильная	15	7	10	17	8	0,15
очень сильная	20	10	15	25	12	0,20

Газообразные потери азота на пахотных и лугопастбищных угодьях колеблются в пределах от 10 до 50 % от внесенного с удобрениями. В атмосферу выделяются молекулярный азот, закись, окись и двуокись азота, аммиак. По данным Института почвоведения и агрохимии, в Республике Беларусь из пахотных почв в среднем улетучивается 25 % азота, внесенного с минеральными и органическими удобрениями. По каждому элементу рассчитывается средневзвешенный показатель потерь с учетом количества эродированных почв в хозяйстве.

Пример. Из 2850 га пашни хозяйства 201 га составляют слабоэродированные почвы, 105 — средне- и 98 га — сильноэродированные почвы. Средневзвешенный показатель потерь азота от эрозии в расчете на 1 га пашни будет равен $(5 \cdot 201 + 10 \cdot 105 + 15 \cdot 98) : 2850 = 1,2$ (кг/га). На сенокосах и пастбищах потери элементов питания от вымывания и эрозии не учитываются. Сумма по статьям расхода показывает расход элементов питания в среднем на 1 га севооборотной площади.

Сопоставив приход с расходом, находят общий баланс и его интенсивность. Например, приход по азоту на 1 га равен 115 кг, а расход — 90 кг, т. е. общий баланс будет + 25 кг/га (115 – 90), а интенсивность баланса составит 127 % $[(115 : 90) \cdot 100]$.

Общий баланс основных питательных элементов (азот, фосфор, калий) принято считать удовлетворительным, когда его интенсивность приблизительно равна: по азоту — 110–120 %, по фосфору — 130–150, по калию — 120–150 %. По данным Института почвоведения и агрохимии Республики Беларусь, такие значения интенсивности баланса в производственных условиях обеспечивают продуктивность пашни на уровне 50–60 ц/га к. ед.

Оптимальные значения интенсивности баланса азота в зависимости от продуктивности пашни приведены в табл. 8.13.

Таблица 8.13. Оптимальная интенсивность баланса азота в зависимости от продуктивности пашни

Продуктивность	Почвы	
	суглинистые и супесчаные на морене	супесчаные на песках и песчаные
	Интенсивность баланса азота, %	
Более 60 ц/га к. ед.	130–140	—
51–60 ц/га к. ед.	120–130	—
41–50 ц/га к. ед.	110–120	120–130
20–40 ц/га к. ед.	100–110	100–110

По результатам длительных стационарных полевых опытов Институт почвоведения и агрохимии рекомендует оптимальные параметры интенсивности баланса фосфора и калия в зависимости от содержания их в почвах (табл. 8.14). По данным Института почвоведения и агрохимии и других научных учреждений, фосфор из почвы практически не вымывается и не загрязняет грунтовые воды. Поэтому при расчетах баланса потери фосфатов не учитываются.

Таблица 8.14. Оптимальная интенсивность баланса в зависимости от обеспеченности почв фосфором и калием

P ₂ O ₅		K ₂ O	
Содержание в почве, мг/кг	Интенсивность баланса, %	Содержание в почве, мг/кг	Интенсивность баланса, %
100	150–180	80	180–200
101–150	130–150	81–140	150–180
151–200	100–120	141–200	120–150
201–300	50–70	201–300	80–100
301–400	40–50	300	50–60

Наряду с общим рассчитывается и эффективный баланс, который характеризует отношение между выносом растениями элементов питания и возможным их усвоением из поступивших в почву. Применяв коэффициенты использования питательных элементов из удобрений, находят величины возможного их усвоения. Сопоставив величины возможного усвоения питательных элементов с выносом урожаем, получим характеристику эффективного баланса.

Пример. На 1 га севооборотной площади внесено 56 кг азота с минеральными удобрениями, с атмосферными осадками поступило 9 кг, всего — 65 кг, из них усвоится 60 %, т. е. 39 кг. С органическими удобрениями поступит 70 кг азота и еще 20 кг биологического (5 кг симбиотического и 15 кг несимбиотического), всего — 90 кг/га азота. В первый год будет усвоено 25 % органического и биологического азота, или 22,5 кг ($90 \cdot 0,25$), вместе с минеральными формами — 61,5 кг ($39 + 22,5$). Растения на создание урожая используют 101 кг азота. Эффективный баланс характеризуется минусовым значением: $61,5 - 101,0 = -39,5$ (кг/га). Интенсивность эффективного баланса по азоту будет равна 60 % ($61,5 : 101 \cdot 100$).

Аналогично рассчитываются эффективные балансы по фосфору и калию.

Для оценки системы применения удобрений по эффективному балансу проводится расчет возможного усвоения азота, фосфора и калия из почвенных запасов. Систему применения удобрений можно считать разработанной правильно в том случае, если дефицит элементов питания по эффективному балансу будет компенсироваться за счет возможного усвоения из почвы.

Пример. Для определения возможного усвоения элементов питания из почвенных запасов предварительно рассчитывают средневзвешенные значения содержания в почве гумуса, фосфора и калия по севообороту. Пусть в почве содержится 2 % гумуса и по 100 мг/кг почвы фосфора и калия. По данным Института почвоведения и агрохимии, растения могут усвоить из запасов почвы по 20–25 кг азота на каждый процент гумуса в почве. В нашем примере это составит 40–50 кг/га азота. Фосфор растения усваивают на уровне 6–8 % от запасов подвижных форм в почве, калий — 10–15 %. Запасы их в почве определяют умножением средневзвешенных значений их содержания на коэффициент 3. В нашем примере запасы фосфора и калия

будут равны 300 кг/га ($100 \cdot 3$) каждого элемента. Таким образом, усвоится 18–24 кг/га фосфора ($300 \cdot 0,06...0,08$) и 30–45 кг/га калия ($300 \cdot 0,1...0,15$). Если принять эффективный баланс предыдущего примера равным 39,5 кг азота, т. е. из почвы может быть усвоено 40–50 кг азота, то планируемые величины урожаев будут обеспечены питательными элементами и систему удобрений можно считать разработанной правильно.

При оценке системы применения удобрений по балансу питательных элементов прогнозируется изменение содержания в почве за ротацию севооборота подвижных форм фосфора и калия. Поступление фосфора и калия за ротацию севооборота сверх расхода делят на норматив (табл. 8.4 и 8.5) и определяют увеличение их содержания в почве. Результат суммируют с исходным содержанием и получают прогноз.

Пример. Допустим, что ежегодно сверх выносимого урожаем в почве остается 65 кг/га P_2O_5 , т. е. за ротацию девятипольного севооборота поступит 585 кг/га P_2O_5 . В первые 4 года содержание в почве P_2O_5 увеличивается до 147 мг/кг при исходном содержании на суглинистой почве 100 мг/кг и нормативе возмещения 51 кг/га на 10 мг/кг почвы (табл. 8.4, 8.5). В последующие 5 лет норматив возмещения возрастает до 65 кг/га и содержание P_2O_5 в почве увеличивается еще на 50 мг/кг, достигнув к концу ротации севооборота 200 мг/кг почвы. Таким образом, через девять лет содержание P_2O_5 в почве должно составить 197 мг/кг. Аналогично прогнозируется содержание K_2O .

Расчет баланса кальция, магния и серы. В приходной части баланса учитывается поступление этих элементов с известковыми, органическими и минеральными удобрениями, а также с осадками и семенами, в расходной части — вынос урожаем и потери от фильтрации и эрозии. Поступление кальция и магния с известковыми удобрениями рассчитывают по количеству известковых удобрений на 1 га. Например, в среднем на 1 га севооборотной площади будет ежегодно вноситься 1,1 т доломитовой муки, или 0,935 т $CaCO_3$ (содержание $CaCO_3$ — 85 %). Из табл. 8.15 находим количество CaO и MgO на 1 га, вносимое с известковыми удобрениями. С 935 кг $CaCO_3$ поступает 280,5 кг CaO ($30 \cdot 9,35$) и 187 кг MgO ($20 \cdot 9,35$).

По количеству минеральных удобрений на 1 га д. в. определяют поступление CaO , MgO и S в почву. Например, на 1 га пла-

нируется внести 65 кг P_2O_5 в виде двойного суперфосфата. С этим количеством P_2O_5 поступает 20 кг CaO ($65 \cdot 31 : 100$). В случае применения сульфата аммония и сульфата калия определяют количество действующего вещества, поступающее с этими видами удобрений на 1 га, и рассчитывают поступление серы, используя данные таблицы 8.15.

Таблица 8.15. Содержание кальция, магния и серы в минеральных и известковых удобрениях в расчете на 100 кг д. в. (N, P_2O_5 , K_2O , $CaCO_3$), кг

Удобрение	CaO	MgO	S, %
Простой суперфосфат	117	—	13
Двойной суперфосфат	31	—	—
Сульфат аммония	—	—	24,2
Сульфат калия	—	—	33
Молотый известняк	56	—	—
Молотый доломит	30	20	—
Молотый доломитизированный известняк	50	5,0	—
Мел	56	—	—
Гашеная известь	56	—	—
Доломитовая мука	30	20	—
Дефекат	56	—	—
Цементная пыль	58	1,0	1,0
Сланцевая зола	58	5	—
Фосфогипс (40%-й влажности, на 100 кг физической массы)	23	—	17,7–20,6
Сульфат калия	—	—	18,0
Сульфат магния	—	—	18,6
Сульфат натрия	—	—	22,6

Поступление кальция, магния и серы с органическими удобрениями рассчитывают с учетом насыщенности почвы последними и поступления этих элементов с удобрениями (см. табл. 8.11). Например, при насыщенности органическими удобрениями в севообороте 12 т/га в почву поступит 48 кг/га CaO ($4 \cdot 12$), 13,2 кг/га MgO ($1,1 \cdot 12$) и около 2,4 кг/га SO_4 ($0,2 \cdot 12$). С атмосферными осадками в почву поступает 25,3 кг/га CaO, 3,6 MgO, 3,6 кг/га S, с семенами — соответственно 0,3; 0,1 и 0,2 кг/га. Суммируя результаты по статьям приходной части баланса, получим поступление кальция, магния и серы на 1 га севооборотной площади.

Вынос урожаем кальция, магния и серы рассчитывают аналогично тому, как это делается для азота, фосфора и кальция. Используя данные, приведенные в табл. 8.15, рассчитывают показатели выноса по каждой культуре и вычисляют средние значения на 1 га. Потери от вымывания и эрозии находят по табл. 8.12.

При известковании потери кальция за счет вымывания возрастают, особенно на легких почвах. По данным Института почвоведения и агрохимии, на почвах с pH_{KCl} более 6 потери кальция возрастают в среднем на 40 % по сравнению со средними данными на почвах без известкования. На кислых почвах (pH менее 5) вымывание кальция примерно на 20 % ниже. Поэтому при расчете баланса кальция средний нормативный показатель потерь (табл. 8.12) на почвах с pH более 6 следует умножить на 1,4, а на почвах с pH менее 5 — на 0,8.

Влияние известкования на вымывание магния неоднозначно, так как в одних случаях катионы кальция ускоряют его вымывание из почвы, что обусловлено вытеснением магния из поглощающего комплекса, а в других — могут уменьшить вымывание магния, нейтрализуя кислотность почвы, которая способствует потерям магния за счет вымывания. В связи с этим при расчетах баланса магния используют нормативы потерь от вымывания, приведенные в табл. 8.6. Определяют расход на 1 га.

Сопоставив показатели по приходу и расходу, находят значения баланса и его интенсивность.

8.5. Приемы, сроки и способы внесения удобрений

Различают три приема внесения удобрений: основное (допосевное, предпосевное), припосевное (рядковое) и подкормку (послепосевное внесение). Удобрения можно вносить в разные сроки: осенью, весной, летом и т. д.

Способы внесения минеральных удобрений принято разделять на разбросной с последующей заделкой плугом, боронами 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, сократить потери питательных элементов от вымывания, уменьшить химическое необменное поглощение элементов и переход их в недоступные для растений формы. 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. При промывном водном режиме значительное количество нитратного азота (20 кг/га и более) вымывается только из легких почв и на паровых полях, на суглинистых почвах потери азота от вымывания при средних дозах внесения удобрений ниже (6–16 кг/га).

Вымывание элементов питания характерно для ранней весны и поздней осени, когда поля не заняты сельскохозяйственными культурами.

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.

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.

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. 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. Заданный уровень размещения удобрений в почве обеспечивают различные технические средства.

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. При заделке минеральных удобрений под плуг в верхний слой почвы попадает порядка 23 % от внесенных удобрений, при заделке тяжелыми культиваторами — 76 %, что обеспечивает достаточным питанием растения в самые начальные периоды их роста и развития. Остальная часть удобрений заделывается в более глубокие слои почвы и может использоваться растениями позже. При заделке удобрений легкими боронами практически все удобрения попадают в слой почвы 0–5 см и при недостатке влаги они находятся в пересохшем верхнем слое почвы и хуже используются растениями.

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.

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 под зяблевую вспашку, 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 %.

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 посевов. 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.

На дерново-подзолистых суглинистых почвах глубина лент основного удобрения под лен, зерновые культуры, горох, вику — 8–10 см, на песчаных и супесчаных почвах (кроме льна) — 10–12 см. Интервалы между лентами для культур сплошного сева — 12–17 см, для пропашных культур — до 20–30 см. Оптимальная ширина лент удобрений 2–4 см. Такую ширину лент обеспечивают культиваторы-растениепитатели, дисковые сошники зерновых сеялок и другие агрегаты.

При ленточном внесении значительно выше, чем при разбросном, степень использования удобрений: азота — на 10–15 %, фосфора — на 5–10, калия — на 10–12 %, поэтому могут быть снижены дозы их внесения. Зональные дозы внесения, установленные для разбросного внесения, при локальном внесении можно уменьшать на 25–30 %.

В среднем при замене разбросного внесения удобрений локальным урожайность картофеля, корнеплодов, овощных культур повышается на 20–40 ц/га, зерновых — на 2–5, льносемян — на 0,5–2, льносоломки — на 4–13, зеленой массы кукурузы — на 39–42, люпина — на 18–25 и рапса ярового — на 43 ц/га. Однако систематическое ежегодное ленточное внесение средних и высоких доз удобрений снижает результативность этого способа. Сдерживает

широкое распространение локального внесения основного удобрения отсутствие высокопроизводительной техники.

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.

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. Коэффициент использования фосфора из удобрений зерновыми культурами, по данным опытов, повышается до 40–60 %, а урожайность — на 1,5–3 ц/га при окупаемости 1 кг д. в. фосфора 12–15 кг зерна. Дозы припосевного удобрения под зерновые — 10–20 кг/га P_2O_5 , под картофель — 20–30 кг/га. Для культур, чувствительных к концентрации почвенного раствора (кукуруза, лен, морковь, огурец, брюква, турнепс), дозы припосевного удобрения не должны превышать 10 кг/га.

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 другие и не применяются смеси из однокомпонентных удобрений, так как это часто мажущаяся, трудновываемая масса. Если до посева вносились высокие дозы удобрений, положительное действие припосевного удобрения заметно слабее или не проявляется вовсе.

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 подкормки, при средних дозах это не дает эффекта. При неглубокой заделке в междурядья эффективность подкормок в сильной степени зависит от влажности почвы в течение вегетации.

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. 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. 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.

Для некорневых подкормок используют также микроудобрения и многокомпонентные комплексные удобрения.

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.

У растений существует тесная взаимосвязь между всеми жизненно важными процессами, в том числе между корневым и некорневым 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 послепосевного внесения определяются по результатам почвенной и растительной диагностики.

Для поверхностной подкормки культур сплошного сева (зерновые, многолетние травы и др.) применяются те же машины, что и для основного внесения удобрений, чаще МТГ-4Ш, «РАУСН», РДУ-1,5, «Альфа», СУ-12, СТН-2,8, РШУ-12 и др. Для некорневой подкормки используются машины ОПШ-15, ПОМ-630, ОП-2000, ОТМ-2-3, S-320 и др. Для подкормки пропашных культур применяются культиваторы-растениепитатели, культиваторы-окучники КРН-4,2, КРН-5,6, КРН-2,8А, КОН-2,8 ПМ и др.

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.

Глава 9

УДОБРЕНИЕ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

9.1. Зерновые, зернобобовые, крупяные культуры

9.1.1. Озимые зерновые культуры

Озимые зерновые в Беларуси высеваются на половине площадей, отводимых под зерновые культуры. Благодаря хорошо развитой корневой системе они хорошо используют осеннюю и весеннюю влагу. Имея более продолжительный период вегетации, они интенсивнее, чем яровые, используют питательные элементы органических удобрений: 1 т навоза окупается в среднем 20–26 кг зерна.

У озимой ржи корневая система развита сильнее, чем у озимой пшеницы. Оптимальное значение pH_{KCl} для ржи 5–6. К концу фазы кущения посевы ржи потребляют примерно треть азота и четверть фосфора и калия от их выноса за период вегетации. Азот и калий рожь усваивает до цветения, а фосфор — до восковой спелости зерна. Озимая пшеница более требовательна к плодородию почв, не переносит высокой их кислотности. Оптимальное значение pH_{KCl} 6–7. Основное количество азота и фосфора пшеница потребляет до колошения, калия — до фазы выхода в трубку. Озимое тритикале по своим биологическим особенностям занимает промежуточное положение между озимой рожью и озимой пшеницей. Для формирования 1 т основной продукции и соответствующим количеством побочной для озимой пшеницы требуется в среднем 30 кг N, 11 кг P_2O_5 и 20 кг K_2O , для озимой тритикале — 26 кг N, 11 кг P_2O_5 и 22 кг K_2O , для озимой ржи — 25 кг N, 11 кг P_2O_5 и 23 кг K_2O .

Самые ответственные периоды в питании озимых культур — от всходов до ухода в зиму, а также начало вегетации весной. Осенью

озимые посевы потребляют значительное количество фосфора и калия и нуждаются в усиленном питании. Фосфор энергично усваивается растениями, стимулируя развитие корневой системы, калий способствует кущению. При достаточном фосфорном и калийном питании растения хорошо укрепляются, накапливают большое количество сахаров, что важно для хорошей перезимовки. Успешной перезимовке способствует внесение органических удобрений: 30–40 т/га соломистого навоза или торфонавозных компостов.

Дозы минеральных удобрений под озимые зерновые культуры с учетом агрохимических свойств почв, планируемого урожая, предшественников и т.д. ежегодно рассчитываются на ЭВМ по методике Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси в областных проектно-изыскательских станциях по химизации сельского хозяйства в планах применения удобрений, которые передаются во все хозяйства Республики Беларусь или пользуются рекомендациями научных учреждений. Средние расчетные дозы для озимых зерновых культур приведены в табл. 9.1–9.3.

Лучшими формами минеральных удобрений под озимую пшеницу и озимое тритикале для внесения основной дозы осенью до посева являются комплексные удобрения: 5–16–35; 7–21–36; 7–16–31 (Cu, Mn), состав которых сбалансирован с учетом биологических особенностей растений и уровня плодородия почв. При их отсутствии применяются аммофос или аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. В этих случаях азотные удобрения не применяют, так как на осенний период развития растений достаточно азота в комплексных удобрениях, или в аммофосе. Технологическая схема применения удобрений для получения высоких урожаев этих культур приведена в табл. 9.4.

Избыточное азотное питание может вызвать перерастание растений, что негативно скажется на перезимовке растений.

Следует отметить, что фосфор растениям нужен в так называемый критический период потребления, т. е. всходы — осеннее кущение для развития корневой системы. Недостаток фосфора в этот период нельзя исправить внесением этого элемента в более поздние фазы развития. Поэтому весенние подкормки фосфорными удобрениями не эффективны. В отношении калия допускаются весенние подкормки на легких по гранулометрическому составу почвах (дерново-подзолистые песчаные и супесчаные) в тех случаях, когда не внесли или внесли недостаточно калийных удобрений.

Таблица 9.1. Средние дозы удобрений под основные сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах

Культуры	Планируемая урожайность, т/га	Навоз, т/га	Азотные удобрения, кг/га д. в.	Фосфорные удобрения, кг/га д. в.					Калийные удобрения, кг/га д. в.					
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
				<100	101–150	151–200	201–300	301–400	<80	81–140	141–200	201–300	301–400	
Озимые зерновые (зерно)	2,0–3,0	30	40–60	50–70	40–60	30–40	20–30	–	60–80	50–60	40–50	30–40	–	
	3,1–4,0	30	60–80	70–90	60–70	40–60	30–40	15–20	80–100	60–80	50–70	40–50	30–35	
	4,1–5,0	30	80–90	То же	70–80	60–70	40–50	20–25	То же	80–100	70–90	50–70	35–40	
	5,1–6,0	30	90–100	»	То же	70–80	50–60	25–30	»	100–120	90–110	70–90	40–45	
	6,1–7,0	30	100–110	»	»	80–90	60–75	30–35	»	То же	110–130	90–110	45–50	
	7,1–8,0	30	110–120	»	»	То же	75–90	35–40	»	»	То же	110–130	50–60	
	2,0–3,0	По-следст-вие	50–60	50–65	40–55	30–40	20–30	–	60–80	50–70	40–50	30–40	–	
Ярвые зерновые (зерно)	3,1–4,0	60	60–70	65–80	55–70	40–55	30–40	15–20	80–100	70–90	50–70	40–60	30–35	
	4,1–5,0	По-следст-вие	70–80	То же	70–80	55–70	40–50	20–25	То же	90–110	70–90	60–80	35–40	
	5,1–6,0	60	80–90	»	То же	70–80	50–60	25–30	»	110–130	90–110	80–100	40–45	
	6,1–7,0	По-следст-вие	90–100	»	»	80–90	60–70	30–35	»	То же	120–140	100–120	45–50	
	7,1–8,0	60	100–110	»	»	То же	70–80	35–40	»	»	То же	120–140	50–60	

Зерно-бобовые (зерно)	1,5–2,0	–	–	50–70	40–60	30–45	20–30	–	80–100	70–90	60–70	40–60	–
	2,1–2,5	–	–	70–90	60–80	45–60	30–40	10–15	100–120	90–110	70–90	60–80	20–30
	2,6–3,5	–	–	То же	80–100	60–75	40–50	10–15	То же	110–130	90–110	80–100	30–40
	3,6–4,5	–	–	»	То же	75–90	50–60	15–20	»	То же	110–130	100–120	40–50
Картофель (клубни)	15,0–20,0	60	50–60	60–70	40–50	30–40	20–25	–	70–80	50–60	40–50	30–40	–
	20,1–25,0	60	60–70	70–80	50–60	40–50	25–30	15–20	80–100	60–80	50–60	40–50	30–35
	25,1–30,0	60	70–85	То же	60–70	50–60	30–40	20–25	То же	80–100	60–80	50–60	35–40
	30,1–35,0	60	85–100	»	То же	60–70	40–50	25–30	»	То же	80–100	60–80	40–50
	35,1–40,0	60	100–120	»	»	70–80	50–60	30–40	»	»	100–120	80–100	50–60
Лен-долгунец (волокно)	0,5–0,7	–	20–25	70–90	60–75	50–60	40–50	10–15	90–110	80–100	70–90	50–70	30–40
	0,7–0,9	–	25–30	То же	75–90	60–75	50–60	15–20	То же	100–120	90–110	70–90	40–45
	0,9–1,1	–	30–35	»	То же	75–90	60–75	20–25	»	То же	110–130	90–110	45–50
	20,0–30,0	60	60–90	70–90	60–80	50–60	30–40	–	80–100	70–90	50–70	40–60	–
Сахарная свекла (корни)	30,1–40,0	60	90–110	90–110	80–100	60–80	40–50	15–20	100–120	90–110	70–90	60–80	25–35
	40,1–45,0	60	110–120	110–120	100–110	80–90	50–55	20–25	120–140	110–130	90–100	80–90	35–40
	45,1–50,0	60	120–130	То же	110–120	90–100	55–60	25–30	То же	130–150	100–120	90–100	40–45
	50,1–55,0	60	130–140	»	То же	100–110	60–70	30–35	»	То же	120–140	100–110	45–50
	55,1–60,0	60	140–150	»	»	110–120	70–80	35–40	»	»	140–150	110–120	50–60
Гречиха (зерно)	1,0–1,5	–	35–45	40–60	30–40	25–35	20–30	–	60–80	50–70	40–60	25–35	–
	1,6–2,0	–	45–55	60–80	40–60	35–50	30–40	15–20	80–100	70–90	60–80	35–45	20–25
	2,1–2,5	–	55–70	То же	60–80	50–70	40–50	20–25	То же	90–110	80–90	45–55	25–30
	2,6–3,0	–	70–90	»	То же	70–90	50–60	25–30	»	То же	90–100	55–65	30–40
Озимый рапс (семена)	1,5–2,0	–	60–80	60–75	50–65	40–50	30–40	15–20	80–100	70–90	60–80	40–50	10–20
	2,1–2,5	–	80–100	75–90	65–80	50–65	40–50	20–25	100–120	90–110	80–90	50–60	20–30
	2,6–3,0	–	100–120	То же	80–95	65–80	50–60	25–30	То же	110–120	90–100	60–70	30–40
	3,1–3,5	–	120–140	»	То же	80–95	60–70	30–35	»	То же	100–110	70–80	40–45
	3,6–4,0	–	140–160	»	»	95–110	70–80	35–40	»	»	110–120	80–90	45–50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Яровой рапс (семена)	1,5-2,0	-	50-70	60-70	50-60	40-50	30-35	10-15	70-90	60-80	50-70	30-40	10-20
	2,1-2,5	-	70-90	70-85	60-70	50-60	35-40	15-20	90-110	80-90	70-80	40-50	20-25
	2,6-3,0	-	90-110	То же	70-80	60-70	40-50	20-25	То же	90-100	80-90	50-60	25-30
	3,1-3,5	-	110-130	»	То же	70-80	50-60	25-30	»	То же	90-100	60-70	30-35
Кукуруза (силос)	3,6-4,0	-	130-150	»	»	80-95	60-70	30-35	»	»	100-110	70-75	35-40
	20,0-30,0	80	60-80	60-80	50-60	40-50	20-30	-	80-100	70-90	50-70	40-60	-
	30,1-35,0	80	80-90	80-90	60-70	50-55	30-35	15-20	100-120	90-100	70-90	60-70	30-35
	35,1-40,0	80	90-100	90-100	70-80	55-60	35-40	20-25	120-140	100-110	90-100	70-80	35-40
Кормовая свекла (корни)	40,1-45,0	80	100-110	То же	80-90	60-70	40-45	25-30	То же	110-120	100-110	80-90	40-45
	45,1-50,0	80	110-120	»	То же	70-80	45-50	30-35	»	То же	110-120	90-100	45-50
	20,0-30,0	80	40-60	50-70	30-50	20-40	15-30	-	60-100	40-80	30-60	20-40	-
	30,1-50,0	80	60-100	70-110	50-80	40-70	30-50	10-20	100-180	80-150	60-110	40-60	20-30
Однолетние бобовые травы (зеленая масса)	50,1-70,1	80	100-140	То же	70-100	50-70	30-40	20-30	То же	110-160	60-80	30-40	30-40
	70,1-90,0	80	140-180	»	»	То же	70-80	30-40	»	»	То же	80-110	40-60
	10,0-20,0	-	-	30-50	25-40	20-30	15-20	-	70-100	50-80	40-70	30-50	-
	20,1-30,0	-	-	50-70	40-60	30-50	20-30	-	100-130	80-110	70-100	50-70	20-30
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	30,1-40,0	-	-	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	100-120	70-90	30-40
	40,1-50,0	-	-	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	»	90-110	40-50
	10,0-20,0	-	50-70	30-50	25-40	20-30	15-20	-	80-110	60-90	50-80	40-60	-
	20,1-30,0	-	70-90	50-70	40-60	30-50	20-30	-	110-140	90-120	80-110	60-80	30-35
Однолетние крестовые травы (зеленая масса)	30,1-40,0	-	90-110	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	110-130	80-100	35-45
	40,1-50,0	-	110-120	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	То же	100-120	45-55
	10,0-20,0	-	30-40	30-50	25-40	20-30	15-20	-	70-100	50-80	40-70	30-50	-
	20,1-30,0	-	40-55	50-70	40-60	30-50	20-30	-	100-130	80-110	70-100	50-70	20-30
Многолетние бобовые травы (сено)	30,1-40,0	-	70-90	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	100-120	70-90	30-40
	40,1-50,0	-	90-110	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	То же	90-110	40-50
	10,0-20,0	-	40-60	30-50	25-40	20-30	15-20	-	70-100	50-80	40-70	30-50	-
	20,1-30,0	-	60-80	50-70	40-60	30-50	20-30	-	100-130	80-110	70-100	50-70	20-30
Многолетние злаковые травы (сено)	30,1-40,0	-	80-100	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	100-120	70-90	30-40
	40,1-50,0	-	100-110	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	»	90-110	40-50
	10,0-20,0	-	40-60	30-50	25-40	20-30	15-20	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	20,1-30,0	-	60-80	50-70	40-60	30-50	20-30	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
Многолетние злаковые травы (сено)	30,1-40,0	-	110-130	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	40,1-50,0	-	130-150	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
	3,0-4,0	-	60-80	50-70	45-60	40-50	30-40	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	4,1-6,0	-	80-110	70-100	60-80	50-70	40-50	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
Многолетние бобовые травы (сено)	6,1-8,0	-	60-70	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	8,1-10,0	-	70-90	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
	3,0-4,0	-	40-50	50-70	45-60	40-50	30-40	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	4,1-6,0	-	50-60	70-100	60-80	50-70	40-50	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
Сенокосы (сено)	6,1-8,0	-	60-70	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	8,1-10,0	-	70-90	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
	2,0-4,0	-	40-70	30-50	25-45	20-35	15-25	-	70-100	60-90	50-75	30-50	-
	4,1-6,0	-	70-100	50-70	45-65	35-50	25-35	-	100-130	90-120	75-100	50-70	20-30
Сенокосы (сено)	6,1-8,0	-	100-130	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	130-160	120-150	100-125	70-90	30-40
	8,1-10,0	-	130-160	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	То же	125-150	90-115	40-50
	10,1-12,0	-	160-180	»	»	То же	55-70	30-40	»	»	То же	115-140	50-60
	10,1-12,0	-	160-180	»	»	То же	55-70	30-40	»	»	То же	115-140	50-60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Однолетние бобовые травы (зеленая масса)	10,0-20,0	-	30-40	30-50	25-40	20-30	15-20	-	70-100	50-80	40-70	30-50	-
	20,1-30,0	-	40-55	50-70	40-60	30-50	20-30	-	100-130	80-110	70-100	50-70	20-30
	30,1-40,0	-	55-70	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	100-120	70-90	30-40
	40,1-50,0	-	70-90	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	То же	90-110	40-50
Однолетние крестовые травы (зеленая масса)	10,0-20,0	-	40-60	30-50	25-40	20-30	15-20	-	70-100	50-80	40-70	30-50	-
	20,1-30,0	-	60-80	50-70	40-60	30-50	20-30	-	100-130	80-110	70-100	50-70	20-30
	30,1-40,0	-	80-100	То же	То же	50-70	30-40	10-20	То же	То же	100-120	70-90	30-40
	40,1-50,0	-	100-110	»	»	То же	40-50	10-20	»	»	»	90-110	40-50
Многолетние бобовые травы (сено)	3,0-4,0	-	60-80	50-70	45-60	40-50	30-40	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	4,1-6,0	-	80-110	70-100	60-80	50-70	40-50	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
	6,1-8,0	-	60-70	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	8,1-10,0	-	70-90	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
Многолетние злаковые травы (сено)	3,0-4,0	-	40-50	50-70	45-60	40-50	30-40	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	4,1-6,0	-	50-60	70-100	60-80	50-70	40-50	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
	6,1-8,0	-	60-70	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	8,1-10,0	-	70-90	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
Многолетние бобовые травы (сено)	3,0-4,0	-	40-50	50-70	45-60	40-50	30-40	-	100-120	90-110	80-100	50-70	-
	4,1-6,0	-	50-60	70-100	60-80	50-70	40-50	-	120-150	110-140	100-120	70-100	30-40
	6,1-8,0	-	60-70	То же	То же	70-90	50-60	20-30	То же	То же	120-140	100-120	40-50
	8,1-10,0	-	70-90	»	»	То же	60-70	30-40	»	»	То же	120-140	50-60
Сенокосы (сено)	2,0-4,0	-	40-70	30-50	25-45	20-35	15-25	-	70-100	60-90	50-75	30-50	-
	4,1-6,0	-	70-100	50-70	45-65	35-50	25-35	-	100-130	90-120	75-100	50-70	20-30
	6,1-8,0	-	100-130	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	130-160	120-150	100-125	70-90	30-40
	8,1-10,0	-	130-160	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	То же	125-150	90-115	40-50
Сенокосы (сено)	10,1-12,0	-	160-180	»	»	То же	55-70	30-40	»	»	То же	115-140	50-60
	10,1-12,0	-	160-180	»	»	То же	55-70	30-40	»	»	То же	115-140	50-60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Пастбища (зеленая масса)	10,0–20,0	–	50–75	30–50	25–45	20–35	15–25	–	70–100	60–90	50–75	30–50	–
	20,1–30,0	–	75–100	50–70	45–65	35–50	25–35	–	100–130	90–120	75–100	50–70	20–30
	30,1–40,0	–	100–125	70–90	65–85	50–65	35–45	20–25	130–160	120–150	100–125	70–90	30–40
	40,1–50,0	–	125–150	То же	То же	65–80	45–55	25–30	То же	То же	125–150	90–115	40–50
50,1–60,0	–	150–180	»	»	»	То же	55–70	30–40	»	То же	115–140	50–60	

Таблица 9.2. Средние дозы удобрений под основные сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных на песках почвах

Культуры	Планируемая урожайность, т/га	Навоз, т/га	Азотные удобрения, кг/га д. в.	Фосфорные удобрения, кг/га д. в.			Калийные удобрения, кг/га д. в.						
				Фосфорное	Р ₂ O ₃ в почве, мг/кг	Соержание К ₂ O в почве, мг/кг	Фосфорное	Р ₂ O ₃ в почве, мг/кг	Соержание К ₂ O в почве, мг/кг				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Озимые зерновые	1,5–2,0	30	35–45	40–50	35–40	25–30	15–20	60–70	40–50	30–40	20–25	201–300	–
	2,1–2,5	30	45–55	50–60	40–50	30–35	20–25	70–80	50–60	40–50	25–30	–	–
	2,6–3,0	30	55–65	То же	50–60	35–40	25–30	То же	60–70	50–60	35–40	–	–
	3,1–3,5	30	65–75	»	То же	40–45	30–35	»	То же	60–70	45–50	–	–
Яровые зерновые (зерно)	3,6–4,0	30	75–90	То же	40–45	35–40	25–30	То же	60–70	40–50	30–40	20–30	–
	1,5–2,0	После-действие	40–45	40–45	35–40	25–30	15–20	60–70	40–50	30–40	20–30	–	–
	2,1–2,5	50–60	45–55	40–45	30–35	15–20	70–80	50–60	40–50	30–40	–	–	–
	2,6–3,0	50–60	55–65	То же	40–50	35–40	20–25	То же	60–70	50–60	40–50	–	–
3,1–3,5	–	–	65–75	»	То же	40–45	20–25	»	То же	60–70	50–60	–	–
3,6–4,0	–	–	75–85	»	»	45–50	25–30	»	»	70–80	60–65	–	–

Зернобобовые (зерно)	1,0–1,5	–	–	–	40–50	35–45	30–35	20–25	65–80	55–70	45–60	30–45	–
	1,6–2,0	–	–	–	50–60	45–55	35–40	20–25	80–100	70–90	60–80	45–60	–
	2,1–2,5	–	–	–	То же	55–65	40–45	25–30	То же	90–110	80–100	60–75	–
Зернобобовые (зерно)	2,6–3,0	–	–	–	»	То же	45–55	30–35	»	То же	100–120	75–90	–
	0,5–1,0	–	–	30–50	35–55	25–40	20–30	15–20	55–85	45–70	35–55	20–30	–
	1,1–1,5	–	–	50–70	55–75	40–55	30–40	20–30	85–115	70–95	55–70	30–45	–
Картофель (клубни)	1,6–2,0	–	–	70–90	То же	То же	40–55	30–35	»	»	70–90	45–60	–
	15,0–20,0	60	55–75	55–65	35–45	30–40	25–30	75–95	55–70	45–60	30–40	–	–
	20,1–25,0	60	75–90	65–75	45–55	40–45	30–35	95–110	70–85	60–75	40–55	–	–
Кормовая свекла (корни)	25,1–30,0	60	90–100	То же	55–65	45–50	35–40	85–100	То же	85–100	75–90	55–70	–
	30,1–35,0	60	100–110	»	»	То же	50–60	40–45	»	То же	90–100	70–80	–
	20,0–30,0	80	45–65	45–65	25–40	20–30	15–20	70–110	50–80	35–65	25–40	–	–
Озимый рапс (семена)	30,1–45,0	80	65–95	То же	40–60	30–45	20–30	80–130	То же	80–130	65–100	40–60	–
	45,1–60,0	80	100–130	»	»	То же	45–60	30–40	»	То же	100–140	60–80	–
	1,0–1,5	–	–	45–65	45–60	35–50	25–35	20–25	65–80	45–60	35–50	20–30	–
Яровой рапс (семена)	1,6–2,0	–	–	65–85	60–75	50–65	35–45	25–30	80–100	60–80	50–65	30–45	–
	2,1–2,5	–	–	85–105	То же	То же	45–55	30–35	То же	То же	65–80	45–60	–
	1,0–1,5	–	–	45–60	45–55	30–40	20–30	15–20	65–85	45–65	35–55	20–30	–
Кукуруза (силос)	1,6–2,0	–	–	60–80	55–70	40–50	30–40	20–25	85–105	65–85	55–75	30–45	–
	2,1–2,5	–	–	80–95	То же	То же	40–50	25–30	То же	То же	75–90	45–60	–
	15,0–20,0	80	45–60	45–55	30–40	20–25	15–20	50–60	40–55	30–40	20–25	–	–
Яровой рапс (силос)	20,1–25,0	80	60–75	55–65	40–50	25–30	15–20	60–80	55–70	40–50	25–30	–	–
	25,1–30,0	80	75–90	65–75	50–60	30–40	20–25	80–100	70–85	50–60	30–35	–	–
	30,1–35,0	80	90–105	То же	60–65	40–50	25–30	85–100	То же	85–100	60–70	35–40	–
35,1–40,0	80	105–120	»	»	То же	50–60	25–30	»	»	70–80	40–50	–	

Окончание табл. 9.2

Однолетние бобовые травы (зеленая масса)	10,0–15,0	–	–	30–40	25–35	20–25	15–20	75–90	55–70	45–55	35–45
	15,1–20,0	–	–	40–50	35–45	25–30	15–20	90–110	70–85	55–70	45–55
	20,1–25,0	–	–	То же	45–50	30–40	20–25	То же	85–100	70–85	55–65
	25,1–30,0	–	–	»	То же	40–45	25–30	»	То же	85–100	65–75
	10,0–15,0	–	40–45	30–40	25–35	20–25	15–20	80–95	65–80	45–55	35–45
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	15,1–20,0	–	55–70	40–50	35–45	25–30	15–20	95–115	80–95	55–70	45–55
	20,1–25,0	–	70–80	То же	45–50	30–40	20–25	То же	95–110	70–85	55–65
	25,1–30,0	–	80–90	»	То же	40–45	25–30	»	То же	85–100	65–75
	10,0–15,0	–	35–45	30–40	25–35	20–25	15–20	75–90	55–70	45–55	35–45
	15,1–20,0	–	45–55	40–50	35–45	25–30	15–20	90–110	70–85	55–70	45–55
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	20,1–25,0	–	55–70	То же	45–50	30–40	20–25	То же	85–100	70–85	55–65
	25,1–30,0	–	70–80	»	То же	40–45	25–30	»	То же	85–100	65–75
	10,0–15,0	–	45–55	30–40	25–35	20–25	15–20	75–90	55–70	45–55	35–45
	15,1–20,0	–	55–65	40–50	35–45	25–30	15–20	90–110	70–85	55–70	45–55
	20,1–25,0	–	65–75	То же	45–50	30–40	20–25	То же	85–100	70–85	55–65
Многолетние бобовые травы (сено)	25,1–30,0	–	75–85	»	То же	40–45	25–30	»	То же	85–100	65–75
	2,0–3,0	–	–	35–45	30–40	25–30	20–25	80–100	70–90	60–75	40–55
	3,1–4,0	–	–	45–55	40–50	30–40	25–30	100–120	90–110	75–90	55–70
	4,1–5,0	–	–	То же	50–60	40–50	30–35	То же	110–130	90–110	70–90
	5,1–6,0	–	–	»	То же	50–60	35–40	»	То же	110–130	90–110
Многолетние злаковые травы (сено)	2,0–3,0	–	45–60	35–45	30–40	25–30	20–25	80–100	70–90	60–75	40–55
	3,1–4,0	–	60–75	45–55	40–50	30–40	25–30	100–120	90–110	75–90	55–70
	4,1–5,0	–	75–90	То же	50–60	40–50	30–35	То же	110–130	90–110	70–90
	5,1–6,0	–	90–100	»	То же	50–60	35–40	»	То же	110–130	90–110

Многолетние бобово-злаковые травы (сено)	2,0–3,0	–	30–40	35–45	30–40	25–30	20–25	80–100	70–90	60–75	40–55
	3,1–4,0	–	40–50	45–55	40–50	30–40	25–30	100–120	90–110	75–90	55–70
	4,1–5,0	–	50–65	То же	50–60	40–50	30–35	То же	110–130	90–110	70–90
	5,1–6,0	–	65–75	»	То же	50–60	35–40	»	То же	110–130	90–110
	2,0–3,0	–	45–60	30–40	25–35	20–25	15–20	80–100	70–90	55–70	35–50
Сенокосы (сено)	3,1–4,0	–	60–75	40–50	35–45	25–30	15–20	100–120	90–110	70–90	50–65
	4,1–5,0	–	75–90	То же	45–55	30–40	20–25	То же	110–130	90–110	65–80
	5,1–6,0	–	90–110	»	То же	40–45	25–30	»	То же	110–130	80–100
	10,0–15,0	–	50–65	30–40	25–35	20–25	15–20	80–100	70–90	55–70	35–50
	15,1–20,0	–	65–80	40–50	35–45	25–30	15–20	100–120	90–110	70–90	50–65
Пастбища (зеленая масса)	20,1–25,0	–	80–95	То же	45–55	30–40	20–25	То же	110–130	90–110	65–80
	25,1–30,0	–	95–110	»	То же	40–45	25–30	»	То же	110–130	80–100

Таблица 9.3. Рекомендуемые дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры на торфяно-болотных почвах

Культуры	Планируемая урожайность, т/га	Навоз, т/га	Азотные удобрения, кг/га д. в.	Фосфорные удобрения, кг/га д. в.			Калийные удобрения, кг/га д. в.						
				201–400	401–600	601–800	201–400	401–600	601–1000	801–1300			
				Содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг			Содержание K ₂ O в почве, мг/кг						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Озимые зерновые (зерно)	3,0–4,0	–	20–25	80–95	65–80	50–65	35–50	20–25	90–110	65–85	55–75	35–55	25–35
	4,1–5,0	–	25–30	95–100	80–95	65–80	50–60	25–30	110–130	85–105	75–95	55–75	35–40
	5,1–6,0	–	30–40	То же	80–90	60–70	30–40	То же	То же	95–110	75–90	50–60	

Окончание табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Яровые зерновые (зерно)	3,0-4,0	-	20-25	65-85	50-60	40-55	30-40	20-25	90-110	75-85	65-80	35-55	25-35
	4,1-5,0	-	25-30	85-100	60-80	55-70	40-50	25-30	110-130	85-110	80-95	55-75	35-45
	5,1-6,0	-	30-40	То же	То же	70-80	50-60	30-40	То же	То же	95-110	75-90	45-55
Зернобобовые (зерно)	1,5-2,5	-	-	55-85	45-75	35-55	25-40	15-20	90-110	80-100	65-90	45-70	20-35
	2,6-3,5	-	-	85-110	75-105	55-75	40-55	20-30	110-135	100-125	90-115	70-100	35-50
	3,6-4,5	-	-	То же	То же	75-100	55-70	30-40	То же	То же	115-140	100-130	50-60
Картофель (клубни)	15,0-20,0	-	20-25	65-75	45-55	40-50	30-35	20-25	75-95	55-75	45-60	30-45	20-30
	21,0-25,0	-	25-30	75-90	55-70	50-60	35-45	25-30	95-115	75-95	60-80	45-60	30-40
	25,1-30,0	-	30-35	То же	70-85	60-70	45-55	30-35	То же	95-115	80-100	60-75	40-50
Кормовая свекла (корни)	30,1-35,0	-	35-40	»	То же	70-80	55-65	35-40	»	То же	100-115	75-90	50-55
	35,1-40,0	-	40-45	»	»	80-95	65-75	40-45	»	»	115-130	90-100	55-60
	20,0-30,0	-	20-30	55-80	35-60	25-50	20-30	15-20	70-120	50-100	35-80	25-45	20-30
Однорезные злаковые (зеленая масса)	30,1-50,0	-	30-40	То же	60-90	50-75	30-45	20-25	То же	100-170	80-125	45-70	30-45
	50,1-70,0	-	40-50	»	То же	75-100	45-65	25-35	»	То же	125-170	70-95	45-60
	70,1-90,0	-	50-70	»	»	-	65-85	35-45	»	»	То же	95-120	60-70
Однорезные бобово-злаковые (зеленая масса)	15,0-20,0	-	15-20	50-65	35-45	30-40	25-30	15-20	90-120	80-100	65-90	50-65	25-30
	20,1-30,0	-	20-25	»	45-60	40-55	30-40	20-30	То же	100-130	90-120	65-85	30-40
	30,1-40,0	-	25-30	»	То же	55-70	40-50	30-35	»	То же	120-150	85-105	40-50
Многолетние злаковые (зеленая масса)	40,1-50,0	-	30-35	»	»	То же	50-60	35-40	»	»	То же	105-120	50-60
	15,0-20,0	-	15-20	50-65	35-45	30-40	25-30	15-20	90-120	80-100	65-90	50-65	25-30
	20,1-30,0	-	20-25	»	45-60	40-55	30-40	20-30	То же	100-130	90-120	65-85	30-40
Однорезные бобовые (сено)	3,0-4,0	-	30-40	55-70	40-50	40-55	30-40	20-30	110-130	90-110	75-100	55-70	30-35
	4,1-6,0	-	35-40	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	То же	110-140	100-130	70-90	35-45
	6,1-8,0	-	40-45	То же	То же	55-70	40-50	30-35	То же	130-135	90-110	45-60	60-70
Многолетние бобовые (сено)	40,1-50,0	-	45-50	»	»	То же	50-60	35-40	»	»	То же	110-130	60-70
	15,0-20,0	-	15-20	50-65	35-45	30-40	25-30	15-20	90-120	80-100	65-90	50-65	25-30
	20,1-30,0	-	20-25	»	45-60	40-55	30-40	20-30	То же	100-130	90-120	65-85	30-40
Многолетние злаковые (сено)	30,1-40,0	-	25-30	»	То же	55-70	40-50	30-35	»	То же	120-150	85-105	40-50
	40,1-50,0	-	30-35	»	»	То же	50-60	35-40	»	»	То же	105-120	50-60
	3,0-4,0	-	30-40	55-70	40-50	40-50	30-40	25-35	110-130	90-110	75-100	55-75	30-40
Многолетние бобовые (сено)	4,1-6,0	-	35-40	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
	6,1-8,0	-	40-50	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
	8,1-10,0	-	50-60	То же	»	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
Многолетние злаковые (сено)	3,0-4,0	-	30-40	55-70	40-50	40-50	25-35	10-15	110-130	100-120	90-110	55-75	30-40
	4,1-6,0	-	35-40	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
	6,1-8,0	-	40-50	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
Многолетние бобово-злаковые (сено)	8,1-10,0	-	50-60	То же	»	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
	3,0-4,0	-	20-25	55-70	40-50	40-50	25-35	10-15	110-130	100-120	90-110	55-75	30-40
	4,1-6,0	-	25-30	70-90	65-85	50-70	35-50	15-25	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
Сенокосы (сено)	6,1-8,0	-	30-35	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
	8,1-10,0	-	35-40	То же	То же	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
	2,0-4,0	-	30-35	30-50	25-45	20-35	15-25	10-25	80-110	70-100	55-80	35-55	25-35
Пастбища (зеленая масса)	4,1-6,0	-	35-40	50-70	45-65	35-50	25-35	15-20	110-140	100-130	80-110	55-80	35-45
	6,1-8,0	-	40-50	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	140-170	130-160	110-140	80-105	45-55
	8,1-10,0	-	50-60	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	140-165	105-130	55-65	65-80
Пастбища (зеленая масса)	10,1-12,0	-	60-70	»	»	80-90	55-60	30-35	»	»	165-190	130-150	65-80
	10,0-20,0	-	30-35	30-50	25-45	20-35	15-25	10-25	80-110	70-100	55-80	35-55	25-35
	20,1-30,0	-	35-40	50-70	45-65	35-50	25-35	15-20	110-140	100-130	80-110	55-80	35-45
Пастбища (зеленая масса)	30,1-40,0	-	40-50	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	140-170	130-160	110-140	80-105	45-55
	40,1-50,0	-	50-60	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	140-165	105-130	55-65	65-80
	50,1-60,0	-	60-70	»	»	80-90	55-60	30-35	»	»	165-190	130-150	65-80

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Однорезные крестоцветные (зеленая масса)	15,0-20,0	-	25-30	50-65	35-45	30-40	25-30	15-20	90-120	80-100	65-90	50-65	25-30
	20,1-30,0	-	30-35	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	То же	100-130	90-120	65-85	30-40
	30,1-40,0	-	35-40	»	То же	55-70	40-50	30-35	»	То же	120-150	85-105	40-50
Многолетние бобовые (сено)	40,1-50,0	-	40-45	»	»	То же	50-60	35-40	»	»	То же	105-120	50-60
	3,0-4,0	-	30-40	55-70	40-50	40-50	25-35	10-15	110-130	100-120	90-110	55-75	30-40
	4,1-6,0	-	35-40	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
Многолетние злаковые (сено)	6,1-8,0	-	40-50	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
	8,1-10,0	-	50-60	То же	»	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
	3,0-4,0	-	30-40	55-70	40-50	40-50	25-35	10-15	110-130	100-120	90-110	55-75	30-40
Многолетние бобово-злаковые (сено)	4,1-6,0	-	35-40	То же	45-60	40-55	30-40	20-30	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
	6,1-8,0	-	40-50	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
	8,1-10,0	-	50-60	То же	»	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
Многолетние бобово-злаковые (сено)	3,0-4,0	-	20-25	55-70	40-50	40-50	25-35	10-15	110-130	100-120	90-110	55-75	30-40
	4,1-6,0	-	25-30	70-90	65-85	50-70	35-50	15-25	130-165	120-150	110-135	75-100	40-55
	6,1-8,0	-	30-35	То же	То же	70-85	50-60	25-30	То же	135-160	100-125	55-70	70-80
Сенокосы (сено)	8,1-10,0	-	35-40	То же	То же	85-100	60-70	30-35	»	»	160-180	125-150	70-80
	2,0-4,0	-	30-35	30-50	25-45	20-35	15-25	10-25	80-110	70-100	55-80	35-55	25-35
	4,1-6,0	-	35-40	50-70	45-65	35-50	25-35	15-20	110-140	100-130	80-110	55-80	35-45
Пастбища (зеленая масса)	6,1-8,0	-	40-50	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	140-170	130-160	110-140	80-105	45-55
	8,1-10,0	-	50-60	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	140-165	105-130	55-65	65-80
	10,1-12,0	-	60-70	»	»	80-90	55-60	30-35	»	»	165-190	130-150	65-80
Пастбища (зеленая масса)	10,0-20,0	-	30-35	30-50	25-45	20-35	15-25	10-25	80-110	70-100	55-80	35-55	25-35
	20,1-30,0	-	35-40	50-70	45-65	35-50	25-35	15-20	110-140	100-130	80-110	55-80	35-45
	30,1-40,0	-	40-50	70-90	65-85	50-65	35-45	20-25	140-170	130-160	110-140	80-105	45-55
Пастбища (зеленая масса)	40,1-50,0	-	50-60	То же	То же	65-80	45-55	25-30	То же	140-165	105-130	55-65	65-80
	50,1-60,0	-	60-70	»	»	80-90	55-60	30-35	»	»	165-190	130-150	65-80

Таблица 9.4. Технологическая схема применения удобрений при возделывании озимой пшеницы и тритикале (урожайность 60–70 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{14-20}P_{60-90}K_{120-140}$	Комплексные удобрения: 5-16-35; 7-21-36; 7-16-31 (Cu, Mn), при их отсутствии: аммофос, хлористый калий	До посева
N_{60-70}	КАС или карбамид, сульфат аммония	Весной в начале вегетации
N_{35-40}	Карбамид	В фазе начала выхода в трубку
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь Л — 0,65 л/га МикроСтим Марганец — 1,0 л/га	Некорневые подкормки: 1-я — в стадии 1-го узла в баковой смеси с хлормекватхлоридом или фунгицидом и добавлением мочевины — 10 кг на 200 л/га рабочего раствора. 2-я — в стадии 4-го листа
N_{40-50}	Карбамид	В фазе появления флагового листа
N_{10} (для пшеницы)	Водный раствор карбамида в концентрации до 7 %	Колошение

Примечание. Для озимой пшеницы суммарная доза азота составляет 160–180; для озимой тритикале — 130–150 кг/га.

Минеральное питание озимых зерновых культур в период после возобновления весенней вегетации осуществляется по основным стадиям развития растений.

Одним из условий эффективности азотных удобрений является дробное их внесение. Всего за период вегетации посеvy озимой пшеницы и озимой тритикале внесение азота рекомендуется проводить в 3–4 срока.

Технологическая схема применения удобрений под озимую рожь приведена в табл. 9.5.

Первую подкормку озимых зерновых культур проводят в начале активной вегетации растений, когда среднесуточная температура воздуха превысит +5 °С и появятся молодые корешки. Достаточное азотное питание в этот период определяет мощность кушения

растений озимых зерновых культур. Дозы азотных удобрений под озимую пшеницу и озимое тритикале в первую ранневесеннюю подкормку должны составлять 70–80 кг/га д. в., озимую рожь — 60–70 кг/га д. в. Кроме карбамида и КАС под озимые зерновые культуры (озимую пшеницу и озимое тритикале) рекомендуется применять сульфат аммония в качестве серосодержащего удобрения в этих же дозах по действующему веществу.

Таблица 9.5. Технологическая схема применения минеральных удобрений под озимую рожь (урожайность 60–70 ц/га)

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{15-20}P_{40-50}K_{120-140}$	Аммофос, хлористый калий	До посева
N_{60-70}	КАС или мочевины	Весной в начале вегетации
N_{30-40}	Мочевина	В фазе начала выхода в трубку
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец, или МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец	Некорневые подкормки в стадии первого узла в баковой смеси с ретардантом и фунгицидом и добавлением мочевины — 10–15 кг на 200 л рабочего раствора

Очень важным в системе удобрения озимых зерновых культур является стадия выхода растений в трубку. Проявляется она, когда на уровне 1 см над землей начинает прощупываться второй узел. Это оптимальный срок для начала проведения второй подкормки посевов азотными удобрениями. Если азот, внесенный в первую ранневесеннюю подкормку, определяет мощность кушения и количество продуктивных стеблей, то азот, применяемый в фазе начала трубкования, определяет длину колоса, число колосков в колосе, снижает редукцию колосков, т. е. в сумме с азотом в первую подкормку формирует основной потенциал урожайности озимых зерновых культур.

Оптимальная доза азотных удобрений для проведения подкормки в фазе начала выхода в трубку составляет 30 кг/га д. в., максимальная же не должна превышать 40 кг/га д. в. Ограничение дозы азота в этот период является обязательным, так как более высокие дозы азота могут привести к усиленному росту междоузлий, что будет способствовать полеганию растений. В этот период для подкормки лучше всего использовать карбамид, или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3.

Обязательным приемом при возделывании озимых зерновых культур в стадии выхода растений в трубку является применение медных удобрений в дозе 50 г/га д. в. Лучшей формой для проведения некорневой подкормки медью является МикроСтим-Медь (хелатная форма меди с гуминовыми веществами). На почвах с рН более 6,0 рекомендуется также некорневая подкормка марганцевыми удобрениями (МикроСтим-Марганец) в дозе 50 г/га д. в.

Для озимой ржи достаточно провести две подкормки азотными удобрениями. Первая в дозе — 60–70 кг/га д. в. с возобновлениями вегетации и вторая в фазе начала выхода в трубку в дозе 25–30 кг/га д. в.

Для формирования высокой урожайности зерна озимых пшеницы и тритикале требуется подкормка азотными удобрениями и в фазе появления флагового листа. В эту фазу на посевах озимой пшеницы и озимого тритикале можно внести еще 50–60 кг/га д. в. азота в форме карбамида без опасности вызвать полегание растений, так как рост междоузлий уже будет закончен.

Для повышения качества зерна озимой пшеницы в фазу начала колошения можно провести некорневую подкормку азотом в дозе 10–15 кг/га д. в.

9.1.2. Яровые зерновые культуры

Период вегетации яровых зерновых культур короче, чем озимых (у ячменя 70–110 дней, овса — 100–120, яровой пшеницы 80–115 дней). Корневая система яровых зерновых культур менее развита по сравнению с озимыми, они слабее кустятся. Эти особенности делают необходимым их полноценное питание на всем протяжении вегетации.

Наибольшую потребность в азоте яровые зерновые испытывают в период от начала кущения до выхода в трубку — за это время они поглощают около 40 % азота, потребляемого за вегетационный период. В первые 15–30 дней развития растений азот способствует накоплению углеводов, а не белка. Недостаток азота в первый месяц жизни ведет к нарушению формирования генеративных органов и снижению урожая. Более позднее внесение азота не устраняет отрицательного влияния раннего азотного голодания и не способствует увеличению урожая.

Фосфор способствует росту корневой системы, формированию крупного колоса, более раннему созреванию растений. Критическим периодом фосфорного питания растений является начальный период роста. Фосфорные удобрения дают меньше, чем азотные, прибавку урожайности, но без них растения хуже усваивают азот и калий.

Наибольшее количество калия растения поглощают в первые периоды роста. Высока эффективность калийных удобрений на торфяно-болотных, супесчаных и песчаных почвах при небольших запасах обменного калия. После известкования и по мере окультуривания почв значение калийных удобрений возрастает.

Из яровых наиболее требовательны к условиям произрастания ячмень и пшеница. Оптимальный интервал кислотности для этих культур находится в интервале рН 6,0–7,0. На кислых почвах урожайность и окупаемость удобрений снижается, особенно у сортов интенсивного типа. Яровое тритикале по требованиям к условиям произрастания и особенностям питания близко к яровой пшенице.

Овес менее требователен к условиям произрастания и кислотности почвы (оптимальное значение — рН 5,0–6,0). Он обладает высоким потенциалом биологической продуктивности, лучше, чем ячмень и пшеница, усваивает питательные элементы из почвы, а также из удобрений, внесенных под предшественник. На формирование 1 т зерна вместе с соломой яровая пшеница потребляет в среднем 30,4 кг N, 11,6 кг P₂O₅ и 27 кг K₂O, ячмень — 29,1 кг N, 11,9 кг P₂O₅ и 27,4 кг K₂O, яровое тритикале — 25,3 кг N, 12 кг P₂O₅ и 21,9 кг K₂O, овес — 25,9 кг N, 12,4 кг P₂O₅ и 28,6 кг K₂O.

Все яровые зерновые культуры хорошо отзываются на удобрения. На дерново-подзолистых почвах они хорошо используют последнее действие органических удобрений. Лучшие предшественники яровых — удобренные пропашные культуры.

Дозы минеральных удобрений под яровые зерновые культуры разрабатываются на ЭВМ в областных проектно-исследовательских станциях по химизации сельского хозяйства в зависимости от агрохимических показателей почвы, уровня планируемых урожаев или по рекомендациям научных учреждений (табл. 9.1–9.3). Технологическая схема применения макро- и микроудобрений под яровые зерновые культуры приводится в табл. 9.6.

Таблица 9.6. Технологическая схема применения удобрений при возделывании яровых зерновых культур (урожайность 50–60 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60-90}P_{60-90}K_{120-150}$	Комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста), при их отсутствии: карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид или КАС в разведении с водой в соотношении 1:3	Подкормка в стадии 1-го узла
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Жидкие хелатные микроудобрения: МикроСтим-Медь Л — 0,65 л/га МикроСтим-Марганец — 1,0 л/га	Некорневая подкормка в стадии 1-го узла. Расход рабочего раствора 200 л/га

Лучшими формами минеральных удобрений для основного внесения в почву являются комплексные минеральные удобрения, производимые на Гомельском химическом заводе (марки 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста). Эти удобрения сбалансированы по своему составу с учетом биологических особенностей яровых зерновых культур для почв разного уровня плодородия. За один проход технических средств вносятся все необходимые элементы питания. При отсутствии комплексных форм минеральных удобрений можно вносить простые формы: карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В этом случае для внесения основных доз минеральных удобрений требуется три прохода техники. Дозы азота в составе комплексных удобрений или в форме простых удобрений до посева не должны превышать 60–70 кг/га д. в. на дерново-подзолистых суглинистых и 80–90 кг/га д. в. — на супесчаных и песчаных почвах.

Комплексные или простые формы минеральных удобрений под яровые зерновые культуры вносят под вспашку или культивацию с заделкой на глубину 10–16 см. В этих случаях обеспечивается наиболее равномерное перемешивание удобрений по глубине пахотного слоя.

При внесении расчетных доз минеральных удобрений в стадию начала выхода в трубку посева яровых зерновых культур необходимо подкормить азотом в дозе 30 кг/га д.в. Максимальная доза азота

для районированных сортов яровых зерновых культур при этом не должна превышать 120 кг/га. Эффективность подкормки азотными удобрениями повышается при достаточном увлажнении почвы, поэтому на юге республики основное внесение азота до посева часто является решающим условием в формировании урожая.

Из микроэлементов наибольшее значение для яровых зерновых культур имеют медь и марганец. При некорневых подкормках в фазе начало трубкования растений рекомендуется вносить по 50 г/га д. в. меди и марганца в хелатной форме (МикроСтим-Медь, МикроСтим-Марганец). Некорневые подкормки можно совмещать с химической прополкой (конец кушения) или некорневой подкормкой азотом.

Кроме фуражного и продовольственного назначения ячмень выращивается и на пивоваренные цели. Для получения высококачественного пива зерно ячменя должно соответствовать стандартам по содержанию белка (не более 10%). Для того чтобы обеспечить такие требования, необходимо использовать сорта с генетически обусловленной способностью к пониженному накоплению белка. Система удобрения для таких сортов отличается более низкими дозами азотных удобрений и обязательным применением микроудобрений (табл. 9.7).

Таблица 9.7. Технологическая схема применения удобрений для пивоваренного ячменя (урожайность 40–50 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60}P_{60-90}K_{120-150}$	Комплексные удобрения: 13-11-18; 16-12-20; 14-11-19; 13-8-17 (Cu, Mn, S, регулятор роста), при их отсутствии: карбамид или КАС, аммофос, хлористый калий	До посева
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Жидкие хелатные микроудобрения: МикроСтим-Медь Л — 0,65 л/га, МикроСтим-Марганец — 1,0 л/га	Некорневая подкормка в стадии 1-го узла. Расход рабочего раствора 200 л/га

Лучшими формами минеральных удобрений для пивоваренного ячменя являются специализированные комплексные удобрения со следующим содержанием элементов питания: 9-13-18; 9-18-24; 8-14-20; 10-18-22; 13-19-25; 10-16-19 (Cu, Mn, S). Соотношение

между азотом, фосфором и калием в комплексных удобрениях соответствует биологическим особенностям данной культуры и обеспечивает условия для формирования высокой урожайности при пониженном накоплении белка. Допустимая доза азота под пивоваренный ячмень не должна превышать 60 кг/га д. в. Расчетная доза комплексных удобрений вносится до посева и заделываются в почву на глубину 10–13 см. Дальнейшие подкормки азотом в период вегетации ячменя не требуются. При отсутствии комплексных форм минеральных удобрений можно применять стандартные удобрения КАС или карбамид, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий.

В фазу начала трубкувания посева пивоваренного ячменя необходимо подкормить медными и марганцевыми микроудобрениями. Лучшими формами для некорневых подкормок являются жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец в дозах соответственно 0,65 и 1,0 л/га.

9.1.3. Зернобобовые культуры

Возделывание различных видов зернобобовых культур (горох, люпин, вика яровая, соя) является важнейшим звеном в системе кормопроизводства Республики Беларусь и обусловлено главным образом запросами комбикормовой промышленности для балансирования концентрированных кормов по переваримому белку.

Для устранения дефицита белка РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» предложил ввести оптимизированную структуру посевных площадей. В этой структуре предусмотрено увеличение посевных площадей под зернобобовыми культурами до 350 тыс. га, из них люпина узколистного — 130 тыс. га, гороха — 150, вики яровой — 70 и сои — 25 тыс. га. Это даст возможность ежегодно выделять на кормовые цели около 700 тыс. т зерна зернобобовых и обеспечить республику собственными семенами этих культур.

Основной биологической особенностью зернобобовых культур (горох, вика, пелюшка, люпин, кормовые бобы) является фиксация азота воздуха благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, что снижает их потребность в азотных удобрениях. Коэффициент азотфиксации у этих культур составляет в среднем 60 % от общего

потребления азота на формирование урожая. Примерно 75 % азота, фиксированного бактериями из воздуха, используется растениями, а 25 % остается в клубеньках и после минерализации пожнивнокорневых остатков зернобобовых культур способствует улучшению азотного питания последующих культур. Благодаря симбиотической деятельности с поживными остатками в почве накапливается от 50 до 150 кг/га азота в зависимости от культуры.

Кроме того, зернобобовые культуры, выделяя лимонную кислоту через корневую систему, переводят многие труднорастворимые соединения фосфора, кальция и калия в легкодоступные, обогащая ими пахотный слой. Хорошо развитая корневая система зернобобовых культур обеспечивает рыхление, оструктурирование и дренажирование пахотного слоя и подпахотного горизонта, улучшая их водно-физические свойства. Это снижает эрозию почв, повышает их биологическую активность, стабилизирует баланс гумуса. В большей степени это проявляется у люпина и гороха.

Наиболее благоприятные условия для симбиотической азотфиксации создаются на оптимальном уровне фосфорно-калийного питания и обеспеченности доступным молибденом — микроэлементом, принимающем участие в азотфиксации. Повышенное содержание в почве минерального азота значительно уменьшает азотфиксацию, и зернобобовые культуры становятся такими же потребителями азота, как и другие.

Для возделывания гороха, вики, пелюшки и кормовых бобов наиболее пригодными являются дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы, а также супеси, подстилаемые связными породами. Оптимальные агрохимические показатели почвы: рН — 6,0–6,5, содержание гумуса — не ниже 1,8 %, подвижных соединений фосфора и калия — не менее 150 мг/кг.

Пелюшка, вика, кормовые бобы предъявляют более высокие требования к плодородию почвы, чем люпин. Они лучше растут на связных по гранулометрическому составу почвах, хорошо реагируют на известкование. Оптимальное значение рН_{KCl} для них 6–7.

Зернобобовые культуры требовательны к определению места в севообороте. В связи с накоплением в почве инфекции корневых гнилей не допускается возвращение бобовых на прежнее поле севооборота ранее, чем через 5–6 лет. Лучший предшественник — озимые и яровые зерновые.

Зернобобовые культуры — особенно люпин — чувствительны к высокому содержанию хлора в почве. Эти культуры более или менее равномерно потребляют питательные вещества почвы и удобрений. Горох и вика заканчивают потребление питательных веществ в конце цветения, люпин — при созревании бобов на главном стебле.

Указанные биологические особенности зернобобовых культур определяют потребность их в минеральных удобрениях.

В среднем на формирование 1 т зерна зернобобовые потребляют 61,7 кг азота, 17,6 кг фосфора, 37,2 кг калия.

Кроме того, они хорошо отзываются на применение микроэлементов. Лучшими формами минеральных удобрений для зернобобовых культур являются комплексные, сбалансированные по своему составу с учетом биологических особенностей растений. К ним относятся удобрения следующих марок: 5-18-35; 6-21-32; 7-20-30; 7-17-31 (В, Мо, регулятор роста растений). Кроме азота, фосфора и калия данные удобрения содержат два важных для этих культур микроэлемента бор и молибден. Удобрения вносят весной в один прием до посева и заделывают в почву на глубину 14–23 см. При отсутствии комплексных удобрений можно использовать аммофос (или аммонизированный суперфосфат) и хлористый калий.

Система удобрения зернобобовых культур минеральная, двучленная, включающая основное внесение и некорневую подкормку микроудобрениями.

Непосредственное внесение органических удобрений (30 т/га) рекомендуется только под кормовые бобы.

Высокую потребность в азоте зернобобовые могут удовлетворять фиксацией клубеньковыми бактериями из воздуха и поглощением из почвы. Обычно они не нуждаются во внесении азотных удобрений.

Под вику, полевой горох (пелюшку) азотные удобрения в дозе 30–60 кг/га д. в. вносят под предпосевную культивацию на почвах с содержанием гумуса менее 1,8 % и при неблагоприятных условиях для азотфиксации (дефицит влаги, низкая температура).

Внесение азотных удобрений под эти культуры нерационально. При внесении азотных удобрений они переходят на автотрофный тип питания, и вместо накопления азота становятся азотопотребителями. Как исключение, на почвах с низким плодородием (гумуса менее 1,5 %), в условиях прохладной затяжной весны, если

в стадии 3–4 листьев нет биологически активных клубеньков, вносят 20–30 кг/га азота.

Дозы внесения фосфорных и калийных удобрений зависят от планируемой урожайности и содержания доступных форм этих веществ в почве (см. табл. 9.1–9.2). Под посевы зернобобовых культур используются все виды фосфорных и калийных удобрений.

Срок внесения фосфорных и калийных удобрений — осенью под зяблевую вспашку. На легких почвах, где это невозможно из-за опасности вымывания, калий необходимо вносить рано весной под первую культивацию.

При разработке системы удобрения под люпин необходимо учитывать не только повышение урожайности, но и качество продукции. Фосфорные и калийные удобрения повышают содержание белка в семенах люпина на 1,0–1,5 % и более. Положительное влияние на увеличение содержания белка в зерне люпина оказывают и молибденовые удобрения.

Основной биологической особенностью люпина является фиксация азота воздуха благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, что снижает потребность в азотных удобрениях. Коэффициент азотфиксации у него составляет в среднем 60 % от общего потребления азота на формирование урожая. Примерно 75 % азота, фиксированного бактериями из воздуха, используется растениями, а 25 % остается в клубеньках и после минерализации пожнивно-корневых остатков способствует улучшению азотного питания последующих культур. Он фиксирует из воздуха до 160–180 кг/га азота. Другим культурам он после себя оставляет 50–100 кг/га азота.

Важная особенность люпина — способность поглощать из почвы и удобрений труднорастворимые формы фосфора.

Наиболее благоприятные условия для симбиотической азотфиксации создаются на оптимальном уровне фосфорно-калийного питания и обеспеченности доступным молибденом — микроэлементом, принимающим участие в азотфиксации.

Повышенное содержание в почве минерального азота значительно уменьшает азотфиксацию, и люпин становится таким же потребителем азота, как и другие культуры.

Люпин узколистный предпочитает песчаные, супесчаные и легкосуглинистые почвы. Оптимальная реакция среды pH_{KCl} по

видам люпина составляет: для узколистного — 5,0–5,6, а для люпина желтого — 4,5–5,0 (переносит pH_{KCl} от 4,5 до 7,5).

Эта культура более или менее равномерно потребляет питательные вещества почвы и удобрений. Люпин заканчивает потребление элементов питания при созревании бобов на главном стебле.

Указанные биологические особенности определяют потребность люпина в минеральных удобрениях.

В среднем на 1 т семян и соответствующего количества побочной продукции люпин выносит 84,3 кг N, 19,9 кг P_2O_5 и 44 кг K_2O .

Система удобрения люпина минеральная, двучленная, включающая основное внесение и некорневую подкормку микроудобрениями.

Высокую потребность в азоте люпин удовлетворяет фиксацией клубеньковыми бактериями из воздуха и поглощением из почвы. Обычно он не нуждается во внесении азотных удобрений.

Внесение под люпин азотных удобрений нерационально. Как исключение, на почвах с низким плодородием (гумуса менее 1,5 %), в условиях прохладной затяжной весны, если в стадии 3–4-го листьев нет биологически активных клубеньков (в разрезе они должны быть розового цвета), вносят 20–30 кг/га азота.

Дозы внесения фосфорных и калийных удобрений зависят от планируемой урожайности и содержания доступных форм этих веществ в почве (см. табл. 9.1–9.2).

Люпин — типичный хлорофоб, и калийные удобрения, содержащие хлор, рекомендуется на связных почвах вносить с осени. Лучший срок внесения фосфорных и калийных удобрений — осенью под зяблевую вспашку. На легких почвах, где это невозможно из-за опасности вымывания калия, хлористый калий необходимо вносить рано весной под первую культивацию.

Характерной особенностью люпина, особенно желтого, является устойчивость к повышенной кислотности почвенного раствора и негативное отношение к избытку кальция.

При этом из-за антагонизма между калием и кальцием значительно ухудшается калийный режим питания. Поэтому на известкованных участках дозы внесения калия необходимо увеличить на 20–30 % по сравнению с расчетными на планируемый урожай. Чтобы избежать отрицательного действия известкования почвы на урожайность люпина, его в севообороте необходимо проводить за

3–4 года до того, как на данном поле будет возделываться эта культура.

Лучшая форма известковых удобрений — доломитовая мука. На дерново-подзолистых почвах положительное влияние на урожайность семян люпина оказывают микроэлементы бор и молибден, активизирующие процесс симбиотической фиксации азота. В фазу бутонизации рекомендуется некорневая подкормка бором и молибденом в дозе по 50 г/га д. в. Микроудобрения рекомендуется применять в составе баковой смеси с инсектицидами. Возможна обработка семян борной кислотой (300 г/т семян) и молибдатов аммония (250 г/т). Можно проводить некорневые подкормки также микроудобрениями МикроСтим Бор, Эколист моно бор и Адоб бор в дозе 0,3 л/га в фазе бутонизации. Для улучшения азотфиксации проводится предпосевная обработка семян люпина ризобийным инокулянтом.

При возделывании сои в комплексе агротехнических приемов ведущая роль принадлежит минеральным удобрениям.

Соя является высокобелковой культурой. Она содержит 33–35 % белков и 17–20 % жира. Характерная особенность белка сои — наличие в нем большого количества альбуминов, которые составляют 90 % суммарного белка. Поскольку эта фракция сбалансирована по аминокислотному составу, то в белке сои незаменимые аминокислоты составляют 33,5–35,0 суммарного белка, в том числе около 7 % лизина. Биологическая ценность белков сои высокая и составляет около 70 %.

Нормальное питание сои может протекать при реакции почвенной среды, близкой к нейтральной (pH_{KCl} 6,0–7,0), и она хорошо отзывается на известкование кислых почв.

В сравнении с другими культурами соя много выносит азота с урожаем. На 1 т урожая семян с учетом побочной продукции она потребляет 75 кг N, 20 кг P_2O_5 и 25 кг K_2O . Потребность сои в элементах питания определяется ее биологическими особенностями. В начале вегетации эта культура развивается слабо, от всходов до цветения ей требуется небольшое количество элементов питания. По мере приближения к фазе цветения требования ее к питанию значительно возрастают. Наибольшая потребность в элементах питания — в период от цветения до массового налива бобов, в это время растения поглощают 65 % азота, фосфора и калия. Содержа-

ние азота в растениях сои практически не изменяется, а содержание фосфора постепенно увеличивается. Наибольшее количество калия в растениях содержится в период цветения.

Соя предъявляет высокие требования к плодородию почвы и хорошо отзывается на внесение минеральных удобрений. Оптимальные дозы минеральных удобрений повышают урожайность на 5–7 ц/га и более, а белковость семян этой культуры возрастает на 2–3 %. Большинство данных свидетельствует о положительном действии на урожайность и качество семян сои лишь невысоких доз азота (40–60 кг/га). При этом эффективна и инокуляция семян препаратами клубеньковых бактерий. Лучшее соотношение питательных веществ с удобрениями по действующему веществу N:P:K — 1:1,5:2,0.

В зависимости от степени окультуренности почвы, содержания подвижных форм фосфора и калия эффективными дозами удобрений для сои, по данным опытов, проведенных в Беларуси, были $N_{30-60}P_{50-70}K_{60-120}$.

Эффективным приемом для сои является применение борных и молибденовых удобрений, а также инокуляция семян препаратами клубеньковых бактерий Соя-Риз в дозе 200 г на гектарную порцию семян. Некорневые подкормки микроэлементами применяются в фазе бутонизации бором и молибденом в дозе 50 г д. в. на 1 га.

Горох по составу зерна и соломы отличается от зерновых злаков повышенным содержанием азота, фосфора, калия, а часто магния и серы. На 1 т основной продукции с учетом побочной горох выносит 58,5 кг N, 14 кг P_2O_5 , 29,0 кг K_2O , 24 кг CaO, 4,8 кг MgO и 10,5 кг SO_4 . У гороха максимум накопления элементов питания происходит к концу вегетации.

Горох в симбиозе с клубеньковыми микроорганизмами до 65–70 % азота, идущего на формирование урожая, усваивают из атмосферы. Поэтому потребность в азотных удобрениях у них по сравнению с другими культурами значительно ниже. Внесение азотных удобрений в дозах 25–35 кг/га д. в. следует предусматривать только в годы с прохладной затяжной весной, когда в почве процессы азотфиксации проходят при неблагоприятных условиях (дефиците влаги в почве и низких температурах). Для увеличения азотфиксации применяют бактериальное удобрение.

Горох предъявляет более высокие требования к плодородию почв, чем люпин, он лучше растет на связных по гранулометрическому составу почвах, хорошо реагирует на известкование. Оптимальное значение pH_{KCl} для него 6–7. Он хорошо реагирует на внесение фосфорно-калийных удобрений, повышает урожайность семян, увеличивает фиксацию азота из атмосферы. Горох принадлежит к группе культур, которые хорошо используют запасы фосфора в почвах. Он хорошо отзывается на последствие органических удобрений. Биологические особенности зернобобовых культур определяют потребность их в минеральных удобрениях. Средние дозы фосфорных и калийных удобрений под горох приведены в табл. 9.1–9.2. Азотные удобрения применяют в дозе 30–60 кг/га д. в., а также фосфорные и калийные вносят весной в один прием под культивацию. Хлорсодержащие калийные удобрения при возделывании гороха на дерново-подзолистых суглинистых почвах можно вносить с осени, так как он чувствителен к высокому содержанию хлора в почвах.

Горох хорошо отзывается на применение микроэлементов. Хорошим способом применения микроэлементов для него является обработка семян по 100–150 г д. в. молибдена и бора на 1 т семян. Эффективна также некорневая подкормка гороха в фазу бутонизации бором и марганцем в дозе по 50 г/га д. в. Марганец эффективен на почвах с pH_{KCl} больше 6,0.

Горох хорошо реагирует на обработку семян ризобияльным инокулянтом.

9.1.4. Гречиха

Гречиха требовательна не только к плодородию почвы, но и к месту произрастания. Лучшими для нее являются рыхлые, хорошо прогреваемые, аэрируемые, чистые от сорняков супесчаные почвы, а также легкие и средние суглинки. Плохо растет на холодных тяжелых почвах и песках. В низких местах, где посевы могут пострадать от избытка влаги, заморозков, туманов, гречиху высевать нельзя. Малопригодны для гречихи и возвышенности. Ее нужно размещать на участках, защищенных от холодных северо-восточных ветров. Хорошо растет в широком интервале кислотности с показателями pH от 5,2–6,5.

Корневая система гречихи способна усваивать фосфор из труднодоступных соединений. На формирование одной тонны зерна с соответствующим количеством побочной продукции требуется 37,5 кг азота, 19,8 кг фосфора и 48,2 кг калия.

До цветения растения гречихи поглощают до 60 % азота и калия и 40 % фосфора. Это калиелюбивая культура. Фосфор используется в большей мере во второй половине вегетации. Как и другие культуры, в начале роста гречиха испытывает острую потребность в растворимых формах фосфора.

Хорошо отзывается на азотные удобрения, однако избыток азота вызывает усиленный рост вегетативной массы, что приводит к растягиванию периода вегетации и снижению урожайности зерна. Для среднеспелых и среднепозднеспелых сортов гречихи даже на слабокультуренных почвах после зерновых предшественников доза азота не должна превышать 60 кг/га, после пропашных — 30–40 кг/га. Из микроэлементов гречиха нуждается в боре, цинке и железе. Недостаток бора в системе удобрения гречихи приводит к отмиранию верхушечных почек.

Дозы минеральных удобрений под гречиху, как и под все остальные культуры, рассчитываются в планах применения удобрений на планируемую урожайность в зависимости от содержания этих элементов в почвах. При содержании подвижных форм фосфора и калия в почвах 200–300 мг/кг для получения урожайности зерна 25–30 ц/га нужно внести 40–50 кг/га фосфорных и 80–90 кг/га калийных удобрений.

Лучшими формами минеральных удобрений для гречихи являются комплексные удобрения, производимые на Гомельском химическом заводе (10-19-25; 16-12-20; 13-7-15; 13-9-17 (B, Zn, Fe), которые кроме азота, фосфора и калия, сбалансированного по своему составу с учетом биологических особенностей растений гречихи, содержат такие важные микроэлементы, как бор, цинк и железо.

Комплексные минеральные удобрения под гречиху нужно вносить весной до посева под заделку культиватором на глубину 12–14 см. При отсутствии специализированных комплексных минеральных удобрений можно применять стандартные формы: КАС, карбамид, аммофос, хлористый калий. В этом случае при возделывании гречихи на связных по гранулометрическому составу почвах хлористый калий можно вносить осенью под вспашку. На легких

по гранулометрическому составу почвах все виды стандартных удобрений вносятся весной до посева.

Содержание микроэлементов в комплексных удобрениях обеспечивает растения в начальный период вегетации. В дальнейшем в период бутонизации посева гречихи необходимо подкормить борными микроудобрениями. В Республике Беларусь производится жидкое хелатное микроудобрение МикроСтим-Бор, оптимальная доза которого составляет 1,0 л/га.

9.1.5. Просо

Благодаря биологическим особенностям просо лучше других зерновых культур использует почвенную влагу, меньше страдает от засухи и весьма отзывчиво на улучшение технологии возделывания, в том числе и на удобрения.

Наиболее высокую урожайность просо формирует на связных почвах со слабокислой или нейтральной реакцией среды (pH_{KCl} 5,5–7,0). Наиболее пригодными для проса являются хорошо прогреваемые торфяно-болотные почвы, а также дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые моренным суглинком. Допустимо возделывание на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых песками.

Рекомендуемое содержание гумуса должно составлять не менее 1,6 %, подвижных соединений фосфора и калия — не менее 150 мг/кг.

В первые фазы роста и развития просо растет очень медленно и мало использует элементов питания. У этой культуры короткий период потребления питательных веществ: от кущения до налива зерна просо в течение 45–55 дней использует 80–90 % элементов питания. Максимум поступления азота и калия отмечается в фазе выметывания, фосфора — в фазе восковой спелости.

На формирование 1 т зерна и соответствующего количества соломы используется 30–32 кг азота, 13–15 кг фосфора, 32–34 кг калия, 10–13 кг кальция.

Система удобрения проса минеральная, включающая основное, припосевное внесение и подкормку.

Просо исключительно хорошо использует последствие навоза, поэтому лучше органические удобрения вносить под предшествующую культуру в дозе не менее 40 т/га.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений вносят до посева (табл. 9.8–9.10). Хорошие результаты обеспечивает 15–20 кг/га д. в. фосфора в рядки при посеве (просо одна из наиболее отзывчивых на этот агроприем культура).

Таблица 9.8. Средние дозы минеральных удобрений под просо на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых мореной, кг/га д. в.

Удобрения	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O, мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га				
		< 30	31–40	41–50	51–60	61–70
Азотные	–	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Фосфорные	Менее 100	50–65	65–80	×	×	×
	101–150	40–55	55–70	70–80	×	×
	151–200	30–40	40–55	55–70	70–80	80–90
	201–300	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70
	301–400	–	15–20	20–25	25–30	30–35
Калийные	Менее 80	60–80	80–100	×	×	×
	81–140	50–70	70–90	90–110	110–130	×
	141–200	40–50	50–70	70–90	90–110	120–140
	201–300	30–40	40–60	60–80	80–100	100–120
	301–400	–	30–35	35–40	40–45	45–50

Примечание. × — при данной обеспеченности фосфором и калием получение планируемой урожайности нерентабельно.

Таблица 9.9. Средние дозы минеральных удобрений под просо на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных на песках почвах, кг/га д. в.

Удобрения	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O, мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га				
		15–20	21–25	26–30	31–35	36–40
Азотные	–	40–45	45–55	55–65	65–75	75–85
Фосфорные	Менее 100	40–45	45–50	×	×	×
	101–150	35–40	40–45	45–50	×	×
	151–200	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50
	201–300	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40
Калийные	Менее 80	60–70	70–80	×	×	×
	81–140	40–50	50–60	60–70	×	×
	141–200	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80
	201–300	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70

Таблица 9.10. Средние дозы минеральных удобрений под просо на торфяно-болотных почвах, кг/га д. в.

Удобрения	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O, мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га		
		30–40	41–50	51–60
Азотные	–	20–25	25–30	30–40
Фосфорные	Менее 200	65–85	85–100	×
	201–400	50–60	60–80	×
	401–600	40–55	55–70	70–80
	601–800	30–40	40–50	50–60
	801–1000	20–25	25–30	30–40
Калийные	Менее 200	90–110	110–130	×
	201–400	75–85	95–110	×
	401–600	65–80	80–95	95–110
	601–800	35–55	55–75	75–90
	801–1000	25–35	35–45	45–55

Азотные удобрения на минеральных почвах необходимо вносить под предпосевную культивацию в форме КАС, карбамида или сульфата аммония в дозе 60–90 кг/га д. в. в зависимости от типа почв и планируемой урожайности.

Лучшими формами удобрений для проса являются специализированные комплексные удобрения со следующим составом макро- и микроэлементов: 10-19-25; 16-12-20; 13-7-15; 13-9-17 (В, Zn, Fe). Удобрения вносят до посева с последующей заделкой в почву на глубину 10–14 см. При отсутствии комплексных форм минеральных удобрений применяются стандартные удобрения карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий.

Институтом почвоведения и агрохимии разработана технологическая схема применения удобрений для проса (табл. 9.11).

Таблица 9.11. Технологическая схема применения минеральных удобрений под просо на планируемую урожайность 40–50 ц/га

Формы удобрений и пестицидов	Дозы удобрений и пестицидов, д. в.	Сроки и способы применения
1	2	3
Кинто Дуо Иншур Перформ	2 л/т 0,4–0,5 л/т	Протравливание семян до посева

Окончание табл. 9.11

1	2	3
Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	$N_{90}P_{40-60}K_{90-100}$	До посева под предпосевную обработку почвы
Сектор турбо, МД Базагран, 480 г/л, ВР Балерина, СЭ	0,075–0,1 л/га 2–4 л/га 0,3–0,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе 3–4-х листьев проса против однолетних двудольных, в том числе устойчивых к 2,4-Д и 2М-4Х, и некоторых многолетних двудольных сорняков
Сульфат меди, Адоб медь, МикроСтим Медь, Сульфат марганца, Адоб марганец	$Cu_{25}Mn_{25}$	Некорневая подкормка в фазе кушения, расход рабочего раствора — 200 л/га
Би-58 новый или его аналоги	0,7–1 л/га	Опрыскивание посевов против комариков и тлей по мере необходимости в период вегетации

При посеве на зерно доза азота на минеральных почвах не должна превышать N_{90} , а на торфяно-болотных — N_{20-40} .

Подкормки проса азотом в стадию метелки рекомендуются только на посевах, предназначенных на зеленую массу, где общая его доза в среднем составляет не менее 120 кг/га д. в.

Внесение микроэлементов может проводиться в виде некорневой подкормки в фазе кушения медью и на произвесткованных почвах марганцем в дозах 25 г/га (сульфат меди и сульфат марганца, МикроСтим Медь, МикроСтим Марганец, Адоб медь, Адоб марганец, Эколист моно медь, Эколист моно марганец и др.).

9.2. Технические культуры

9.2.1. Лен-долгунец

Лен-долгунец относится к культурам кальциефобам, предъявляющим высокие требования к реакции почвенной среды. В силу своих биологических особенностей (относительно неглубокое рас-

положение основной массы корней, слабая усваивающая способность корней в отношении питательных веществ, сравнительно короткий период их потребления и т. д.) лен предъявляет повышенные требования к плодородию почвы и наличию в ней достаточного количества питательных веществ в легкоусвояемой форме. При урожае волокна 10 ц/га и соответствующего количества побочной продукции растения льна выносят из почвы 58 кг азота, 23 кг фосфора, 73 кг калия, 35–40 кг кальция, 20–25 кг магния и ряд других элементов.

Лучшими для возделывания льна являются дерново-подзолистые легкосуглинистые и супесчаные почвы на морене и лёссовидных суглинках.

По результатам многих исследований, проведенных на почвах с различными уровнями почвенной кислотности, оптимальный показатель рН (в КС1) для возделывания льна-долгунца составляет от 5,5 до 6,2. При сильноокислой реакции почвы у льна развивается фузариоз, при избытке (рН более 6,2) — бактериоз. Основной причиной заболевания бактериозом является избыток кальция в почвенно-поглощающем комплексе. При этом большое значение для формирования урожайности льна-долгунца имеет содержание в почвах подвижного калия, поскольку калий является антагонистом кальция.

В классическом полевом опыте Института почвоведения и агрохимии при возделывании льна-долгунца на почвах с сильно кислой реакцией (рН 4,3–4,4) урожайность льносолонки был практически в два раза ниже, чем при оптимальной кислотности почвы, поражение растений бактериозом отсутствовало (табл. 9.12.). При рН_{КС1} почвы 5,3–5,4 урожайность льносолонки возрастала, бактериоз на льне также не был отмечен.

При показателе кислотности почвы на уровне рН 5,6–5,7 урожайность льносолонки увеличивается, однако для снижения поражаемости растений бактериозом требуются почвы с высокой обеспеченностью калием, или применение повышенных доз калийных удобрений.

В интервале рН 6,2–6,7 содержания калия на уровне до 180 мг/кг почвы недостаточно, чтобы оптимизировать соотношение К:Са, и пораженность растений бактериозом достигает 70–90 %. В этом случае для снижения поражаемости растений льна

бактериозом высокий эффект обеспечивает проведение некорневых подкормок растений борными и цинковыми микроудобрениями.

Таблица 9.12. Влияние уровней кислотности и содержания калия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на урожай и качество льна

pH _{KCl}	Содержание K ₂ O, мг/кг почвы	Урожай соломки, ц/га	Пораженность бактериозом, %
4,2–4,4	40–50	30,4	–
	110–130	33,3	–
	160–180	30,8	–
5,3–5,4	40–50	45,2	–
	110–130	54,4	–
	160–180	58,8	–
5,6–5,7	40–50	51,7	50–80
	110–130	61,5	10–30
	160–180	64,0	2–3
6,2–6,7	40–50	56,4	90–100
	110–130	66,6	80–90
	160–180	68,8	70–90
НСР ₀₅		1,9	

Критические периоды посевов льна по азоту — от фазы «елочки» до бутонизации, фосфору — от всходов до фазы елочки, калию — первые три недели, когда формируются волокна, а также фаза бутонизации. Достаточная обеспеченность растений фосфором и калием увеличивает устойчивость посевов к полеганию, грибным болезням и ускоряет созревание.

При недостатке азота лен образует короткие, тонкие и, как правило, однокоробочные растения, урожайность низкая. При избытке азота листья сильно разрастаются и затеняют стебель, он быстро вытягивается и ткани не успевают окрепнуть. Образуются округлые элементарные волокна с тонкими стенками и большим просветом. Непрочный стебель полегает.

При средней степени полегания урожайность волокна снижается на 3,0–3,5 ц/га, а качество волокна на 2 номера и более. На семеноводческих посевах задерживается созревание семян, ухудша-

ется их качество. Поэтому необходимо строго соблюдать дозы азота и соотношение NPK. Максимальная доза азота при размещении льна после небобовых предшественников — 35 кг/га. После зернобобовых, пропашных, оборота клеверного пласта дозы азотных удобрений снижаются на 10–15 кг/га. При запасах фосфора и калия 150–200 мг/кг лучшим соотношением азота, фосфора и калия в минеральных удобрениях на дерново-подзолистых почвах является 1:3:4.

Оптимальные дозы минеральных удобрений под лен в зависимости от уровня планируемой урожайности и состояния плодородия почв рассчитываются в планах применения удобрений, разрабатываемых на ЭВМ областными проектно-изыскательскими станциями по химизации сельского хозяйства по методике Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Средние расчетные дозы удобрений под лен-долгунец приведены в табл. 9.1.

Лучшими формами удобрений под лен являются специализированные комплексные удобрения с микроэлементами (5-16-35; 6-21-32; 7-15-29 (B, Zn, Fe)). Данные удобрения производятся на Гомельском химическом заводе. Вносят комплексные удобрения весной до посева и заделывают на глубину 10–12 см. При отсутствии комплексных минеральных удобрений применяют стандартные формы минеральных удобрений: КАС или карбамид, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Эти удобрения также применяют весной до посева. Однако если комплексные удобрения для льна-долгунца вносятся за один проход техники, то для внесения стандартных форм удобрений потребуется три прохода техники по полю.

Количество микроэлементов в комплексных минеральных удобрениях обеспечивает питание растений льна в начальный период роста. Далее в период вегетации для получения качественного льноволокна в период вегетации лен нужно подкормить микроудобрениями. Лучшими формами микроудобрений для льна-долгунца являются жидкие хелатные микроудобрения, производимые в Республике Беларусь, МикроСтим-Бор и МикроСтим-Цинк. Технологические схемы применения удобрений под лен-долгунец в зависимости от степени кислотности почв приводятся в табл. 9.13 и 9.14.

Таблица 9.13. Технологическая схема применения удобрений при возделывании льна-долгунца (урожайность льноволокна 10–12 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
рН — 5,5–5,9		
N _{20–30} P _{60–90} K _{120–150} N:P:K — 1:2–3:4–7	Комплексное удобрения: 5-16-35; 6-21-32; 7-15-29 (B, Zn, Fe), или аммофос и хлористый калий	До посева
B _{0,05–0,10} Zn _{0,075–0,15}	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Цинк, Бор — 2,0 л/га или МикроСтим-Бор — 0,5 л/га, МикроСтим-Цинк — 2,0 л/га	Некорневая подкормка: в фазе «елочка» в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки. Расход рабочего раствора 200 л/га

Таблица 9.14. Технологическая схема применения удобрений при возделывании льна-долгунца (урожайность льноволокна 10–12 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
рН — 6,0–6,2		
N _{20–30} P _{60–90} K _{160–190}	Комплексное удобрения: 5-16-35; 6-21-32; 7-15-29 (B, Zn, Fe), или аммофос и хлористый калий	До посева
B _{0,05–0,10} Zn _{0,075–0,15}	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Цинк, Бор — 2,0 л/га, или МикроСтим-Бор — 0,5 л/га, МикроСтим-Цинк — 2,0 л/га	Некорневые подкормки: 1-я — в фазе «елочка» в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки; 2-я — через 7–10 дней после первой. Расход рабочего раствора 200 л/га

Применение борных и цинковых микроудобрений способствует снижению поражаемости растений льна кальциевым хлорозом и является обязательным приемом в технологии возделывания этой культуры.

9.2.2. Лен масличный

По отношению к почвенным условиям (гранулометрический состав, уровень плодородия, степень кислотности) лен масличный не отличается от льна-долгунца. Поскольку основной продукцией льна масличного являются семена, а не волокно, то в силу этих особенностей лен масличный характеризуется более высоким потреблением азота. Поэтому технологические схемы применения удобрений под лен масличный отличаются только дозами азотных удобрений, оптимум которых составляет 60 кг/га д. в. Азот вносится в указанной дозе до посева. Дробное внесение азотных удобрений под лен масличный не эффективно (табл. 9.15, 9.16). С одной тонной семян и соответствующим количеством побочной продукции лен масличный выносит 48,0 кг азота, 28,6 кг фосфора, 43,0 кг калия, 6,3 кг кальция, 6,1 кг магния.

Лучшими формами минеральных удобрений для льна масличного являются специализированные комплексные удобрения, сбалансированные по своему составу с учетом биологических особенностей растений со следующим содержанием элементов питания: 10-12-20; 12-14-28; 13-11-22; 13-8-14 (B, Zn, Fe). Вносят специализированные комплексные удобрения весной до посева с последующей заделкой в почву на глубину 10–12 см. В период вегетации проводятся две некорневые подкормки жидкими хелатными микроудобрениями МикроСтим-Бор, цинк согласно технологическим схемам (табл. 9.15, 9.16).

Таблица 9.15. Технологическая схема применения удобрений при возделывании льна масличного (урожайность льносемян 25–30 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
1	2	3
рН 5,5–5,9		
N _{50–60} P _{60–90} K _{120–150}	Комплексное удобрения: 5-16-35; 6-21-32; 7-15-29 (B, Zn, Fe), или аммофос и хлористый калий	До посева
B _{0,05–0,10} Zn _{0,075–0,15}	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Цинк, Бор — 2,0 л/га, или МикроСтим-Бор — 0,5 л/га, МикроСтим-Цинк — 2,0 л/га	Некорневая подкормка: в фазе «елочка» в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки. Расход рабочего раствора 200 л/га

Таблица 9.16. Технологическая схема применения удобрений при возделывании льна масличного (урожайность льносемян 25–30 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
рН 6,0–6,2		
$N_{50-60}P_{60-90}K_{160-190}$	Комплексное удобрения: 5-16-35; 6-21-32; 7-15-29 (B, Zn, Fe), или аммофос и хлористый калий	До посева
$B_{0,05-0,10}Zn_{0,075-0,15}$	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Цинк, Бор — 2,0 л/га или МикроСтим-Бор — 0,5 л/га МикроСтим-Цинк — 2,0 л/га	Некорневые подкормки: 1-я — в фазе «елочка» в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки; 2-я — через 7–10 дней после первой. Расход рабочего раствора 200 л/га

9.2.3. Сахарная свекла

Сахарная свекла очень требовательна к плодородию почвы и совершенно не переносит кислых почв, оптимальное значение рН 6,5–7,5. Она хорошо растет на дерновых, дерново-карбонатных почвах на дерново-подзолистых почвах на средних и легких суглинках и супесях, подстилаемых моренными суглинками.

Питательные элементы сахарная свекла усваивает на протяжении всего вегетационного периода. В начале роста она поглощает относительно немного азота, фосфора и калия, но так как корневая система еще развита слабо, молодые растения очень чувствительны к недостатку доступных питательных элементов, особенно фосфора.

В период интенсивного роста листьев свекла потребляет много азота и калия — примерно втрое больше, чем накапливает органические вещества. Для формирования корнеплодов растениям требуется умеренное азотное питание, но усиленное фосфорное и калийное. Это время (июль–август) максимального поступления элементов питания.

Сахарная свекла, как и другие корнеплоды, отзывчива на совместное внесение органических и минеральных удобрений и высоко

ко оплачивает их урожаем. Лучше использовать подстилочный навоз или торфонавозные компосты весенне-летней заготовки после четырех-пяти месяцев хранения в уплотненных буртах. Оптимальные дозы органических удобрений — 60–80 т/га.

Дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность сахарной свеклы рассчитываются на ЭВМ в областных проектно-изыскательских станциях по химизации сельского хозяйства и передаются во все хозяйства республики до начала весеннего сева. Лучшими формами минеральных удобрений для основного внесения в почву являются специализированные комплексные минеральные удобрения со следующим соотношением элементов питания: 13-(10-12)-19; 16-12-20; 14-8-18; 17-9-22 (Na, S, B, Mn).

Максимальные дозы азотных удобрений для формирования урожайности 500–600 ц/га на фоне органических удобрений составляют 155–165 кг/га. Высокие дозы азотных удобрений рекомендуется вносить дробно: 100–120 кг/га — в основное внесение и 35–45 — в подкормку в фазу 4–6 листьев в форме аммиачной селитры или карбамида.

Из микроэлементов растения сахарной свеклы больше всего нуждаются в боре и марганце. При недостатке бора, особенно при возделывании сахарной свеклы на почвах с оптимальной реакцией среды, где ниже его подвижность, развивается гниль сердечка, снижается сахаристость корней, уменьшается урожайность. Лучшей формой микроудобрений для некорневых подкормок являются жидкие микроудобрения МикроСтим-Бор и МикроСтим-Марганец. Некорневые подкормки этими удобрениями проводятся согласно технологической схеме, приведенной в табл. 9.17.

Таблица 9.17. Технологическая схема применения удобрений при возделывании сахарной свеклы (урожайность 500–600 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
Навоз 60–70 т/га	—	Осенью под вспашку
$N_{100-120}P_{60-90}K_{150-180}$	Комплексные удобрения: 13-(10-12)-19; 16-12-20; 14-8-18; 17-9-22 (Na, S, B, Mn), или КАС, мочевины, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{35-45}	Карбамид	В фазу 4–6 листьев

Окончание табл. 9.17

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$B_{0,3}Mn_{0,075}$	Жидкие хелатные микро-удобрения: МикроСтим-Бор — 2,0 л/га, МикроСтим-Марганец — 1,5 л/га	Некорневые подкормки: 1-я — в фазе 10–12 листьев; 2-я — через 1,0–1,5 месяца после первой с добавлением карбамида — 10 кг на 200 л/га рабочего раствора

9.2.4. Озимый и яровой рапс

Озимый рапс. Высокую урожайность семян рапса можно получать на плодородных почвах при оптимальных дозах внесения минеральных удобрений. На создание урожая рапс расходует значительно больше питательных элементов, чем пшеница, ячмень и другие культуры.

По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, с одной тонной семян и соответствующим количеством побочной продукции озимый рапс выносит из почвы 58,0 кг азота, 29 кг фосфора и 26 кг калия. Показатели удельного выноса элементов питания являются важной характеристикой биологических особенностей культуры при определении оптимальных доз минеральных удобрений. Дозы минеральных удобрений под озимый рапс в зависимости от планируемой урожайности и запасов элементов питания в почвах определяются на ЭВМ для всех хозяйств республики в областных проектно-изыскательских станциях по химизации сельского хозяйства при разработке планов применения удобрений.

Лучшими формами минеральных удобрений под озимый рапс для основного внесения в почву являются специализированные комплексные удобрения, производимые на Гомельском химическом заводе марки 6-20-30; 8-18-25; 7:16:31; 5-16-35 (S, B, Mn). Удобрения вносятся после уборки предшествующей культуры под основную обработку почвы. Наличие в комплексных удобрениях сбалансированного соотношения азота, серы и микроэлементов обеспечивают потребность растений озимого рапса в осенний период развития и, что очень важно, способствуют лучшей пере-

мовке растений. Средние расчетные дозы удобрений приведены в табл. 9.1–9.2.

Важным мероприятием по уходу за озимым рапсом являются подкормки азотными удобрениями весной в начале возобновления вегетации растений. Первая подкормка азотными удобрениями посевов озимого рапса проводится, по возможности, в ранние сроки, как и озимые зерновые культуры, после оценки перезимовки растений. Оценка перезимовки растений озимого рапса проводится, как правило, через две недели после схода снега. Оптимальная доза азота составляет 100–120 кг/га. Цель этой подкормки заключается в усилении листо- и побегообразования растений. В этот период закладываются длина центральной и боковых ветвей, количество будущих цветков. На одном растении озимого рапса может сформироваться, при благоприятных условиях, до 3 тыс. цветочных бугорков. Подкормку желательнее провести в максимально сжатые сроки — за 5–7 дней, так кпе при опоздании с ее проведением формируется меньше побегов первого порядка и цветков на них.

Форма азотных удобрений под озимый рапс КАС, мочевины и сульфат аммония. Оптимальным вариантом ранневесенней подкормки озимого рапса является внесение 60 кг/га д. в. азота в форме сульфата аммония и 60 кг/га д. в. азота в форме карбамида или КАС. При подкормке сульфатом аммония растения получают еще один дополнительный макроэлемент — серу, к наличию которой в почве рапс очень чувствителен. Если подкормку посевов озимого рапса проводить КАС и машинами РОСА-0,5, то для того, чтобы внести требуемую дозу азота при расходе жидкости 180 л/га (70 кг/га д. в.) нужно проводить подкормку в два приема.

Вторую подкормку следует провести через 2–2,5 недели при внесении 50–60 кг/га д. в. азота. Цель этой подкормки заключается в усилении ветвления растений и образовании ветвей 2-го и последующих порядков. Недостаток питания в этот период приводит к снижению общего количества стручков на растении и семян в них. Форма азотного удобрения — карбамид. Оптимальное количество азота для двух подкормок в весенний период составляет 180 кг/га д. в.

Некорневые подкормки озимого рапса жидкими борными и марганцевыми удобрениями рекомендуется проводить в два срока: первая — в фазу бутонизации — начало цветения в дозе 150 г/га бора и 75 г/га марганца совместно с инсектицидом против цвето-

еда, вторая — в конце цветения в дозе 150 г/га бора совместно с фунгицидом. Лучшими формами микроудобрений для озимого рапса являются жидкие хелатные микроудобрения МикроСтим-Бор и МикроСтим-Марганец. Кроме того добавляют 4 кг карбамида на 200 л рабочего раствора. Технологическая схема применения минеральных макро- и микроудобрений в период вегетации приводится в таблице 9.18.

Таблица 9.18. Технологическая схема применения удобрений при возделывании озимого рапса (урожайность 40–50 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{30-40}P_{80-100}K_{120-150}$	Комплексные удобрения: 6-20-30; 8-18-25; 7:16:31; 5-16-35 (S, B, Mn). При их отсутствии: сульфат аммония, КАС, или карбамид, аммофос, хлористый калий	До посева
$N_{100-120}$	Сульфат аммония, КАС или карбамид	Весной в начале вегетации
N_{60-80}	Карбамид	Через 2–2,5 недели после первой
$B_{0,15}Mn_{0,75}$	Жидкие микроудобрения: МикроСтим-Бор — 1,0 л/га, МикроСтим-Марганец — 1,0 л/га	Некорневые подкормки весной: 1-я — в фазе стеблевания
$B_{0,15}$	Жидкое микроудобрение: МикроСтим-Бор — 1,0 л/га	2-я — перед цветением. Расход рабочего раствора 200 л/га

Яровой рапс. В Республике Беларусь эту культуру чаще всего является страховой культурой и высевается на полях в случаях гибели посевов озимого рапса при неблагоприятных условиях перезимовки. Если под озимый рапс с осени были внесены расчетные дозы минеральных удобрений, то под яровой рапс рекомендуется внести только азотные удобрения 70–90 кг/га д. в. до посева 30 кг/га д. в. в подкормку в фазу стеблевания—начало бутонизации. Для формирования высокой урожайности семян необходимо провести две некорневые подкормки борными микроудобрениями в начале появления бутонов и полной бутонизации в дозе по 200–300 г бора на гектар. Лучшая форма микроудобрения — МикроСтим-Бор.

Если яровой рапс высевается в качестве основной культуры, то в этом случае требуется внесение оптимальных доз всех видов минеральных удобрений, рассчитанные в планах применения удобрений на ЭВМ. Средние расчетные дозы для ярового рапса приведены в табл. 9.1–9.3.

С 1 тонной зерна и соответствующим количеством соломы яровой рапс выносит 55–58 кг азота, 29–30 кг фосфора и 50–60 кг калия. Для этой культуры характерна и высокая потребность в сере, борных и марганцевых микроудобрениях. С урожаем семян 30–35 ц/га яровой рапс выносит 35–40 кг/га серы, 65–90 г бора, 450–500 г марганца.

Лучшей формой минеральных удобрений под яровой рапс для основного внесения в почву является специализированное комплексное удобрение марки 16–12–20 с серой и бором. При его отсутствии можно применять стандартные формы минеральных удобрений: из азотных сульфат аммония или карбамид, КАС, из фосфорных аммофос или аммонизированный суперфосфат, из калийных хлористый калий. При применении комплексного удобрения посеvy ярового рапса рекомендуется подкормить азотными удобрениями в фазу стеблевания — начало бутонизации в дозе 30–40 кг/га д. в.

При применении стандартных форм минеральных удобрений азотные удобрения также рекомендуется вносить дробно в два приема — 70–90 кг/га д. в. вносят до посева и 30–40 кг/га д. в. в подкормку в фазу стеблевания (растягивания растений) — начало бутонизации. Технологическая схема применения удобрений под яровой рапс приводится в табл. 9.19.

Таблица 9.19. Технологическая схема применения минеральных удобрений под яровой рапс (урожайность 30–35 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{70-80}P_{60-70}K_{150-170}$	Комплексное удобрение: 16-12-20 с серой и бором. При отсутствии: сульфат аммония, карбамид, КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева

Окончание табл. 9.19

Дозы удобрений, кг/га д.в.	Формы удобрений	Сроки применения
N _{30–40}	КАС, карбамид, или сульфат аммония, если не применяли в основное внесение	В фазу стеблевания (растягивания растений) — начало бутонизации
B _{0,2–0,3}	Жидкое микроудобрение МикроСтим-Бор, 2,0 л/га	Некорневые подкормки: 1-я — появление бутона; 2-я — фаза бутонизации в баковой смеси с инсектицидом и добавлением мочевины — 12 кг на 200 л рабочего раствора.

9.3. Кормовые культуры

9.3.1. Удобрение многолетних трав (клевер, люцерна, клеверо-злаковые смеси)

Многолетние бобовые травы — клевер и люцерна, высеваются как в чистом виде, так и в смеси с злаковыми травами. Бессменно на постоянных участках может возделываться люцерна, которая в благоприятных условиях дает высокие урожаи пять-шесть лет.

Лучшими по гранулометрическому составу для возделывания клевера и люцерны являются дерново-подзолистые легкосуглинистые и супесчаные, подстилаемые моренным суглинком почвы. Многолетние бобовые травы требовательны к состоянию почвенной кислотности и запасам элементов питания.

Оптимальный показатель кислотности почв рН для клевера составляет 6–7, для люцерны — 7–8. Злаковые травы менее требовательны к состоянию почвенной кислотности, для них оптимум рН составляет 5,6–6,0.

Люцерна более требовательна к плодородию почвы, чем клевер. Корневая система люцерны развита сильнее, чем у других бобовых. Может высеваться в чистом виде как без покрова, так и под покров.

Наиболее интенсивное поступление элементов питания в растения клевера лугового и люцерны отмечается в период бутонизации и цветения. Благодаря наличию клубеньковых бактерий кле-

вер и люцерна около 70 % потребности в азоте восполняют за счет симбиотической азотфиксации. С учетом этой биологической особенности многолетних бобовых трав система удобрения их должна предусматривать относительно невысокие дозы азота (чтобы стимулировать развитие клубеньковых бактерий) и высокие дозы фосфорных и калийных удобрений в расчете на 1–2 года. Расчетные дозы удобрений под многолетние травы приведены в табл. 9.1–9.3.

Минеральные удобрения под клевер и люцерну, выращиваемые на зеленую массу, вносят под основную обработку почвы. Лучшими формами удобрений для многолетних бобовых трав являются комплексные удобрения со следующим соотношением элементов питания: 5-18-35; 6-21-32; 7-20-30; 7-17-31 (В, Мо, регулятор роста растений). Применение данных форм комплексных удобрений обеспечивает внесение оптимальных доз элементов питания в биологически сбалансированном соотношении. Наличие в комплексном удобрении микроэлементов бора и молибдена обеспечивает полностью сбалансированное минеральное питание растений клевера и люцерны в первые два года жизни. При отсутствии комплексных удобрений под многолетние бобовые травы можно применять стандартные формы минеральных удобрений аммофос или аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. При содержании подвижных форм фосфора и калия в почвах 200–300 мг/кг почвы оптимальные дозы фосфора и калия под клевер и люцерну в расчете на два года составляют 80–100 кг/га д. в. фосфора и 180–200 кг/га д. в. калия.

В дальнейшем при возделывании люцерны, начиная с третьего года жизни, необходимо проводить поверхностные подкормки калийными удобрениями в ранневесенний период в дозе 60–70 кг/га д. в. и в последующем в такой же дозе после первого скашивания.

На участках, где планируется получение семян, необходимо обязательно провести некорневую подкормку в фазе бутонизации борными микроудобрениями. Лучшей формой борных микроудобрений является жидкое микроудобрение, содержащее бор в биологически усвояемой форме, МикроСтим-Бор в дозе 2,0 л/га (табл. 9.20).

При возделывании бобово-злаковых травосмесей (клевер, тимофеевка) лучшими формами минеральных удобрений для основного внесения в почву являются комплексные формы, произ-

водимые на Гомельском химическом заводе, следующих марок: 7–15–30; 8–15–28; 8–17–27 (В, Мо, Zn), 7–0–24. В первый год пользования (второй год жизни) после первого укоса бобово-злаковые травосмеси рекомендуется подкормить азотными и калийными удобрениями в дозах по 60 кг/га д. в. азота и калия. Травосмеси второго года пользования удобряются два раза: весной в начале возобновления вегетации растений — 60 кг/га д. в. азота и 60 кг/га д. в. калия и после первого укоса — 40–50 кг/га д.в. азота. Формы удобрений — карбамид и хлористый калий.

Таблица 9.20. Технологическая схема применения удобрений при возделывании многолетних бобовых трав

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$P_{80-100}K_{180-200}$	Комплексные удобрения: 5-18-35; 6-21-32; 7-20-30; 7-17-31 (В, Мо, регулятор роста растений). При их отсутствии: карбамид, КАС, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	Под основную обработку почвы до посева
K_{60-70}	Хлористый калий	Весной в начале возобновления вегетации
$B_{0,3}$	МикроСтим-Бор, 2 л/га	Семенные участки, фаза начало бутонизации

Поверхностное внесение фосфорных удобрений под бобово-злаковые травосмеси не эффективно, их нужно вносить только до посева.

9.3.2. Кукуруза

В Беларуси кукурузу выращивают на силос и на зерно. Кукуруза очень требовательна к почвенному плодородию, не переносит кислых (оптимальное значение рН 6,0–6,5), а также тяжелых (тяжелосуглинистых и глинистых) переувлажненных почв.

Питательные элементы растения кукурузы потребляют весь вегетационный период — до восковой спелости зерна. Около половины питательных элементов поглощают в период быстрого роста

за короткий промежуток времени — от выметывания метелок до цветения. Первый месяц кукуруза растет медленно и поглощает немного элементов питания, но в этот период кукуруза очень требовательна к наличию в почве доступных форм фосфора и калия. Недостаток фосфора в питании растений в этот период нельзя исправить поверхностным внесением фосфорных удобрений в подкормку.

С одной тонной зеленой массы кукуруза выносит 2,85 кг азота, 1,15 кг фосфора, 3,29 кг калия. Удельный вынос азота с одной тонной зерна и соответствующим количеством побочной продукции составляет 33 кг, фосфора — 12 кг, калия — 42 кг.

Система удобрения кукурузы включает применение органических и минеральных удобрений. В качестве органических удобрений под кукурузу могут применяться подстилочный навоз, торфонавозные компосты и жидкий бесподстилочный навоз. Рекомендуемые дозы внесения солоमистого навоза и торфо-навозных компостов — 80 т/га. Дозы внесения жидкого бесподстилочного навоза регламентируются по содержанию в нем азота. По этому показателю доза жидкого бесподстилочного навоза не должна превышать 200 кг/га. Превышение этой дозы может приводить к избыточному накоплению нитратов в зеленой массе кукурузы выше ПДК (500 мг/кг). Средние расчетные дозы под кукурузу приведены в табл. 9.1–9.2.

Основная доза минеральных удобрений под кукурузу вносится весной под заделку культиватором на глубину 12–16 см. Лучшими формами минеральных удобрений под кукурузу как на силос, так и на зерно являются специализированные комплексные удобрения 14-13-20; 15-12-18; 14-10-18 (Zn, В, Cu, Mn, Co), производимые на Гомельском химическом заводе. Доза комплексных удобрений в физическом весе определяется по содержанию азота, которая не должна превышать при внесении до посева 120 кг/га. Данная доза является оптимальной для выращивания кукурузы на зерно. При выращивании ее на силос в фазу 4–6 листьев требуется дополнительная подкормка азотом в дозе 30 кг/га д. в.

Кукуруза — культура, требовательная к наличию микроэлементов, в первую очередь, цинка. В фазу 4–6 листьев на посевах кукурузы, выращиваемой на силос или на зерно, рекомендуется провести некорневую подкормку жидким хелатным микроудобрением МикроСтим-Цинк в дозе 2,0–2,5 л/га (табл. 9.21).

Таблица 9.21. Технологическая схема применения удобрений при возделывании кукурузы (урожайность зеленой массы 500–550 ц/га, зерна 100–110 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
Органические удобрения 60–80 т/га	Соломистый навоз, торфо-навозные компосты, или эквивалентные дозы жидкого навоза	Осенью под вспашку
$N_{120}P_{60-80}K_{120-150}$	Комплексные удобрения: 14-13-20; 15-12-18; 14-10-18 (Zn, B, Cu, Mn, Co), при их отсутствии: КАС или карбамид, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	В фазу 4–6 листьев
$Zn_{0,10-0,15}$	Жидкое хелатное микроудобрение МикроСтим-Цинк — 2,0–2,5 л/га	Некорневая подкормка: в фазе 4–6 листьев, расход рабочего раствора 200 л/га

9.3.3. Однолетние травы

Наиболее широко в Республике Беларусь в качестве кормовых культур возделываются вико-овсяные и пелюшко-овсяные смеси, райграс однолетний. Биологическое сочетание двух компонентов вико-овсяных и пелюшко-овсяных травосмесей (бобовые и злаковые) определяет их относительно невысокую потребность в азотных удобрениях и более высокую — в калийных удобрениях. С учетом этих особенностей для таких травосмесей разработаны две формы специализированных комплексных удобрений со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов: 14-10-19; 16-12-20 (B, Cu, Mn). Эти удобрения вносятся до посева под заделку культиватором на глубину 10–14 см. Оптимальные дозы элементов питания на дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах с содержанием подвижных форм фосфора и калия 200–300 мг/кг составляют соответственно 40–50 кг/га д. в. азота, 30–35 кг/га д. в. г фосфора, 60 кг/га д. в. калия. Содержание микроэлементов бора, меди и марганца в комплексных удобрениях является достаточным для получения качественного травостоя. При отсутствии комплекс-

ных форм удобрений можно применять стандартные минеральные удобрения: КАС, карбамид, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Средние расчетные дозы удобрений приведены в табл. 9.1–9.3.

При возделывании райграса однолетнего минеральные удобрения вносятся в один прием до посева. Оптимальные дозы минеральных удобрений при содержании в дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах 200–300 мг/кг фосфора и калия составляют 60–90 кг/га д. в. азота, 30–40 кг/га д. в. фосфора, 80–90 кг/га д. в. калия.

9.3.4. Кормовая свекла

Кормовая свекла дает хорошие урожаи на богатых органическим веществом дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах с глубоким пахотным горизонтом, отличающихся повышенным плодородием. Она дает хорошие урожаи на почвах с близкой к нейтральной реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 6,2–7,2) и очень отзывчива на известкование.

Кормовая свекла обладает слаборазвитой корневой системой, в то же время при высокой урожайности она потребляет большое количество питательных веществ. Вынос с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции составляет 3,5 кг N, 1,1 кг P_2O_5 и 7,9 кг K_2O . Кормовая свекла с урожаем корнеплодов 800 ц/га выносит из почвы 280 кг N, 88 кг P_2O_5 и 632 кг K_2O .

В течение вегетации кормовая свекла потребляет элементы питания неравномерно. Усиленное азотное питание необходимо при формировании надземной массы. Фосфор равномерно поглощается в течение вегетации. Калий активней поглощается во второй половине вегетации. Например, кормовая свекла за май-июнь потребляет 23 % азота от общего потребления и по 15–16 % фосфора и калия, в июле-августе — 67–68 % азота и калия и 62 % фосфора, а в сентябре — только 10 % азота, 23 % фосфора и 16 % калия.

Кормовая свекла хорошо отзывается на совместное применение органических и минеральных удобрений. Окупаемость 1 т навоза кормовой свеклой составляет 200 кг и 1 кг NPK — 65 кг корнеплодов.

Кормовая свекла хорошо отзывается на внесение комплексных удобрений в рядки при посеве в дозе по 10–12 кг NPK.

Под кормовую свеклу можно вносить любые формы азотных и фосфоросодержащих удобрений, которые используются в настоящее время в Беларуси.

Система удобрения под кормовую свеклу — органоминеральная. Органические удобрения под нее вносятся в дозе 80–90 т/га. Лучшим сроком их внесения является осеннее под вспашку.

Минеральные удобрения вносятся в дозах, рассчитанных в зависимости от содержания элементов питания в почвах и уровня планируемой урожайности (см. табл. 9.1–9.3).

Фосфорные и калийные удобрения можно вносить как осенью под вспашку, так и весной под предпосевную культивацию. Лучшей формой калийных удобрений для кормовой свеклы, так же как и для сахарной, является калийная соль, которая содержит натрий. На песчаных и рыхлосупесчаных почвах калийные удобрения вносятся под предпосевную культивацию.

Азотные удобрения под кормовую свеклу в дозах более 120 кг/га д. в. применяются в два приема: 100–120 кг/га — под предпосевную культивацию и 40–60 кг/га — в подкормку в фазе 2–4 настоящих листьев, но не позднее 8 листьев. Максимальная доза азотных удобрений не должна превышать 180 кг/га д. в., так как более высокие дозы приводят к избыточному накоплению нитратов (выше ПДК — 1500 мг/кг сырой массы) в корнеплодах.

На посевах кормовой свеклы при низком и среднем содержании бора и марганца в почве проводятся некорневые подкормки борными и марганцевыми удобрениями в фазе 10–12 листьев (смыкание ботвы в междурядьях) в дозах: В — 100–300 г/га, Мп — 50 г/га. Максимальную дозу бора (300 г/га) необходимо вносить на почвах 1-й группы обеспеченности бором и при засушливых условиях вегетационного периода. Наряду с борной кислотой и сернокислым марганцем можно применять в некорневую подкормку МикроСтим-Бор (1–2 л/га), Адоб Бор (1–2 л/га), Эколист моно бор (1–2 л/га), МикроСтим марганец (1–2 л/га), Эколист моно марганец (0,3 л/га) и другие микроудобрения. Рекомендуется добавлять до 10 кг карбамида на 200 л рабочего раствора.

9.4. Удобрения сенокосов и пастбищ

Расчетные дозы минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные) вносят под основную обработку почвы при залужении (один раз в 4 года). При содержании фосфора и калия в почвах 130–150 мг/кг оптимальные дозы удобрений в зависимости от ботанического состава травосмесей составляют 60–90 кг/га д. в. азота, 100–120 кг/га д. в. фосфора, 130–150 кг/га д. в. калия. В дальнейшем в последующие три года система применения удобрений предусматривает поверхностные подкормки азотными и калийными удобрениями: весной в начале вегетации (60–70 кг/га д. в. азота и калия) и после первого укоса в таких же дозах. При пастбищном использовании проводятся подкормки азотом и калием в дозах по 30–40 кг/га д. в. этих удобрений после каждого цикла стравливания. Формы минеральных удобрений для подкормок: карбамид, КАС, хлористый калий.

Система удобрения сенокосов и пастбищ определяется их видом, почвенными условиями, ботаническим составом травостоя, режимом использования (сенокосное, пастбищное) и другими факторами.

Луговые травы потребляют большое количество питательных элементов, что обусловлено длительным вегетационным периодом и использованием травостоя в ранние фазы развития (период максимального поглощения азота и калия). С 1 т сена на улучшенных сенокосах выносятся 16,1 кг азота, 4,9 кг фосфора и 22,0 кг калия, на культурных пастбищах вынос с 1 т зеленой массы составляет: азота — 5,3, фосфора — 0,8, калия — 4,9 кг.

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, на улучшенных сенокосах в год внесения из минеральных удобрений растениями используется 65 % азота, 20 % фосфора и 60 % калия.

Эффективность минеральных удобрений существенно зависит от ботанического состава травостоя. Так, на лугах со злаковым и злаковоразнотравным травостоем больший эффект дают азотные, а с бобовым травостоем — фосфорные и калийные удобрения. Внесение азотных удобрений, как правило, способствует увеличению доли злаковых трав в травостое за счет уменьшения бобового компонента.

Удобрят сенокосы и пастбища при коренном улучшении, перезалужении ежегодно. Коренное улучшение и перезалужение

лугопастбищных угодий предполагают выполнение культуртехнических мероприятий (удаление кустарника, выравнивание кочек и др.), а также внесение органических (50–60 т/га), фосфорных и калийных удобрений (в запас, в расчете на 2–3 года). Это обусловлено тем, что фосфор в почве при поверхностном внесении очень слабо передвигается (не более чем на 3–4 см), поэтому эффективность его при заделке под вспашку выше. Калий в почве более подвижен, чем фосфор, и при поверхностном внесении проникает вглубь на расстояние до 8 см, однако заделка его под плуг на связных по гранулометрическому составу почвах также более эффективна, чем при поверхностном внесении. При кислой реакции почвенной среды проводится известкование в дозах согласно проектно-сметной документации. Перед севом покровной культуры вносят полное минеральное удобрение: по 40–50 кг/га азота и фосфора и 60–90 кг/га калия. Дозы минеральных удобрений для ежегодного внесения на лугопастбищных угодьях приведены в табл. 9.22.

Таблица 9.22. Дозы минеральных удобрений для сенокосов на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах, кг/га д. в.

Удобрения	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O, мг/кг почвы	Планируемый урожай (сено), ц/га				
		20–40	41–60	61–80	81–100	101–120
Азотные	–	40–70	70–100	100–130	130–160	160–180
Фосфорные	Менее 100	30–50	50–70	70–90	х	х
	101–150	25–45	45–65	65–85	х	х
	151–200	20–35	35–50	50–65	65–80	х
	201–300	15–25	25–35	35–45	45–55	55–70
Калийные	301–400	–	–	20–25	25–30	30–40
	Менее 80	70–100	100–130	130–160	х	х
	81–140	60–90	90–120	120–150	х	х
	141–200	50–75	75–100	100–125	125–150	х
	201–300	30–50	50–70	70–90	90–115	115–140
	301–400	–	20–30	30–40	40–50	50–60

Ежегодно на сенокосах весной в начале вегетации проводится подкормка минеральными удобрениями (60–80 кг/га азота, 40–50 фосфора и 70–80 калия), в дальнейшем вносят только азотные удобрения под каждый укос. Ранней весной лучше использовать для подкормки КАС, аммиачную селитру, так как по сравнению с карба-

мидом у нее меньше газообразные потери азота. Для получения качественного сена или зеленой массы разовая доза азота на сенокосных угодьях не должна превышать 80–90 кг/га. Для удобрения сенокосов можно использовать жидкий навоз (50–60 т/га) или осветленные стоки свиноводческих комплексов (250–300 м³/га за один полив). За период вегетации проводятся два-три удобрительных полива. Жидкие органические удобрения лучше применять под второй укос.

На культурных пастбищах применяется та же схема внесения минеральных удобрений, что и на сенокосах, однако для получения зеленой массы с допустимым содержанием нитратов разовая доза азота при подкормках должна быть не более 60–70 кг/га (табл. 9.23). При орошении пастбищ дозы минеральных удобрений увеличиваются на 10–15 %.

Таблица 9.23. Дозы минеральных удобрений для пастбищ на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах, кг/га д. в.

Удобрения	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O, мг/кг почвы	Планируемый урожай (зеленая масса), ц/га				
		100–200	201–300	301–400	401–500	501–600
Азотные	–	50–75	75–100	100–125	125–150	150–180
Фосфорные	Менее 100	30–50	50–70	70–90	х	х
	101–150	25–45	45–65	65–85	х	х
	151–200	20–35	35–50	50–65	65–80	х
	201–300	15–25	25–35	35–45	45–55	55–70
Калийные	301–400	–	–	20–25	25–30	30–40
	Менее 80	70–100	100–130	130–160	х	х
	81–140	60–90	90–120	120–150	х	х
	141–200	50–75	75–100	100–125	125–150	х
	201–300	30–50	50–70	70–90	90–115	115–140
	301–400	–	20–30	30–40	40–50	50–60

9.5. Картофель

Картофель является культурой, требовательной к почвенным условиям, что определяется его биологическими особенностями: слаборазвитой корневой системой, ее высокой потребностью в кислороде в период интенсивного клубнеобразования. Система удобрения картофеля должна обеспечить не только высокую уро-

жайность, но и хорошее качество клубней, сбалансированных по химическому составу и с низким содержанием нитратов.

Для картофеля наиболее пригодными являются структурные, плодородные, водопроницаемые, легкого или среднего гранулометрического состава (с содержанием физической глины от 10 до 40 %), достаточно прогреваемые почвы. Оптимальный уровень плотности для картофеля на среднесуглинистых почвах — 1,0–1,2 г/см³, на супесчаных — 1,3–1,4 г/см³. Увеличение плотности среднесуглинистой почвы до 1,4 г/см³ приводит к снижению урожайности клубней на 35–40 %. Состояние плотности почвы определяет не только урожайность, но и товарные качества клубней картофеля — крупность, форму и лежкоспособность.

Картофель хорошо переносит повышенную кислотность почвы. Оптимальной для него является кислотность в интервале рН_{KCl} от 5,3 до 5,8.

Для получения высокой и стабильной урожайности картофеля необходимо вносить 50–60 т/га органических удобрений. Органические удобрения под картофель лучше вносить осенью под вспашку. Весеннее внесение органических удобрений особенно на суглинистых почвах приводит к задержке сроков полевых работ и значительному неизбежному переуплотнению почвы при проходах техники по влажной почве и, вследствие этого, к существенному снижению урожайности. К преимуществам осеннего внесения органических удобрений относится и лучшее усвоение картофелем питательных веществ в течение периода вегетации.

Лучшими формами органических удобрений под картофель являются солоmistый навоз и торфонавозные компосты. Обязательным требованием при внесении органических удобрений равномерность распределения их по поверхности поля и быстрая заделка в почву в течение 3–5 ч после разбрасывания.

Дозы минеральных удобрений в зависимости от уровня планируемых урожаев, фактического состояния агрохимических свойств почв под картофель рассчитываются в планах применения удобрений на ЭВМ для каждого хозяйства в областных проектно-изыскательских станциях по химизации сельского хозяйства. Средние расчетные дозы удобрений под картофель приведены в табл. 9.1–9.3. Для удобрения картофеля Институтом почвоведения и агрохимии совместно с Белорусским государс-

ственным технологическим университетом и Гомельским химическим заводом разработано специализированные комплексные удобрения со следующим содержанием элементов питания: 13-8-17; 16-12-24; 14-11-18, 14-12-21 (В, S, Cu, Mn, регулятор роста (табл. 9.24)). Данные формы комплексных удобрений сбалансированы по содержанию макро- и микроэлементов с учетом биологических особенностей картофеля для почв с различным содержанием фосфора и калия. Расчетные дозы комплексных удобрений следует вносить весной в один прием под культивацию или перед нарезкой гребней. При отсутствии специализированных, комплексных форм минеральных удобрений можно применять стандартные формы минеральных удобрений сульфат аммония, карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Формы калийных удобрений — хлористый калий и сульфат калия — по влиянию на урожай практически равноценны. Применение сульфата калия по сравнению с хлористым калием способствует повышению содержания крахмала в клубнях на 0,5–0,6 %.

Таблица 9.24. Технологическая схема применения удобрений при возделывании картофеля (урожайность 350–450 ц/га)

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
Навоз 50–60 т/га	—	Осенью под вспашку
N _{100–120} P _{80–90} K _{120–150}	Комплексные удобрения: 13-8-17; 16-12-24; 14-11-18, 14-12-21 (В, S, Cu, Mn, регулятор роста). При отсутствии комплексных удобрений: сульфат аммония или КАС, карбамид, аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посадки
N _{20–30} (песчаные и рыхлосупесчаные почвы)	Сульфат аммония	Подкормка при высоте куста 15–20 см
V _{0,15}	Жидкое микроудобрение МикроСтим-Бор — 1,0 л/га	Некорневая подкормка: при высоте куста 15–20 см. Расход рабочего раствора 200 л/га

При внесении оптимальных доз минеральных удобрений до посадки дополнительные подкормки азотными удобрениями по всходам или при высоте куста 15–20 см в исследованиях Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах было неэффективным. На супесчаных, подстилаемых песками почвах, возможна подкормка (20–30 кг/га д. в.) под первую междурядную обработку при высоте куста 15–20 см.

Для получения клубней высокого качества с допустимым содержанием нитратов максимально допустимая дозой азотных удобрений на фоне 60–70 т/га органических удобрений не должна превышать 120 кг/га д. в.

Из микроэлементов картофель больше всего нуждается в боре и меди. Часть этих элементов растения усваивают из вносимых органических удобрений. Однако даже на фоне органических удобрений на картофеле могут быть эффективными некорневые подкормки бором в дозах 35–40 г/га д. в. при высоте кустов 15–20 см.

9.6. Удобрение плодовых и ягодных культур

Основными плодовыми культурами являются: семечковые (яблоня, груша, айва) и косточковые (слива, вишня, алыча, черешня и др.); ягодные культуры — земляника, смородина, крыжовник, малина и др.

Садоводство — высокоинтенсивная отрасль, требующая значительных капитальных затрат при закладке плантаций и уходе за ними. Поэтому рентабельность садоводства зависит от правильной разработки и применения рациональной системы удобрения.

Отличительная особенность плодовых и ягодных культур — их длительное возделывание на одном месте — от 3 до нескольких десятков лет. При соответствующем подборе сортов и хорошем уходе они могут плодоносить ежегодно.

Питание многолетних растений имеет специфические особенности, которые необходимо учитывать при применении удобрений.

Система удобрений плодовых садов и ягодных кустарников включает удобрение плодовых и ягодных питомников; окульту-

ривание почвы перед закладкой сада; внесение удобрений при посадке плодовых деревьев и ягодных кустарников; удобрение плодоносящих насаждений. Система удобрения земляники состоит из удобрения маточника и ягодной плантации в специальных севооборотах. Получить высокие урожаи плодов хорошего качества можно при оптимальной обеспеченности этих культур всеми макро- и микроэлементами.

9.6.1. Особенности питания плодовых и ягодных культур

Плодовые деревья растут и используются много лет и в разные периоды жизни предъявляют разные требования к условиям питания. По биологическим и хозяйственным показателям можно выделить три наиболее характерных периода: от посадки до первого плодоношения; полное плодоношение; массовое усыхание больших скелетных ветвей.

Продолжительность первого периода — от посадки до первого плодоношения — зависит от породных и сортовых особенностей. У вишни это два-три года, семечковых культур, привитых на сильнорослых подвоях, — пять-восемь лет. Плодовые деревья на слабо-рослых подвоях и скороплодных сортов вступают в плодоношение раньше. Яблоня, привитая на среднерослом вегетативно размножаемом подвое (дусене), начинает плодоносить на третий-четвертый год, а на слабо-рослом (парадизке) — на второй-третий.

В период до начала плодоношения у растений сильно растут надземная масса и корневая система, рост продолжается до поздней осени, вегетация часто затягивается, и растения подвергаются риску подмерзания. Корневая система в это время еще недостаточно развита и чувствительна как к недостатку, так и к избытку питательных элементов. Слишком высокий уровень азотного питания усиливает рост вегетативной массы и замедляет вступление плодовых культур в плодоношение. В этот период важно сбалансированным применением удобрений «уравновесить» вегетативное и генеративное развитие растений.

В период *полного плодоношения* образуются плодовые веточки и почки, замедляется рост побегов. Для высоких урожаев необходима оптимизация питания растений, внесение оптимальных доз удобрений. В этот период возрастает потребность в калии.

Третий период — *массовое усыхание больших скелетных ветвей* — характеризуется затуханием плодоношения, отмиранием старых ветвей и образованием волчков, из которых формируется крона. Дозы удобрений в этом периоде несколько ниже, чем во втором. В интенсивном садоводстве в этот период деревья не используются и закладывается новая плантация.

На протяжении одного вегетационного периода плодовые культуры потребляют разное количество питательных элементов. Максимум потребления отмечается дважды: весной (до и во время распускания почек, цветение и образование листового аппарата) и осенью (накопление запасных питательных элементов и вторая волна роста корней: конец сентября — начало октября). Весной вначале больше потребляется калия, чем азота, осенью — азота. Фосфор используется на протяжении всей вегетации, первый максимум его потребления приходится на конец мая — начало июня, второй — на август. Косточковые культуры (вишня, черешня, слива, алыча и абрикосы) более требовательны к уровню питания, чем семечковые (яблоня и груша).

Плодоносящие деревья из основных элементов питания усваивают больше всего калия, меньше — азота и еще меньше фосфора. В среднем для яблони отношение NPK для создания единицы биомассы составляет 1,95:1:2,53.

Размер поглощения элементов питания определяется процентным содержанием их в растениях, размером самого растения, уровнем урожая, а также почвенно-климатическими условиями, системой приемов агротехники. Из плодовых культур наибольшее их количество потребляет слива и яблоня, из ягодных — земляника и крыжовник (табл. 9.25).

Таблица 9.25. Поглощение элементов питания плодовыми и ягодными культурами (в кг на 1 т урожая)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Яблоня	1,09	0,29	1,16	1,19	0,49
Груша	1,53	0,37	1,72	1,45	0,56
Слива	3,53	1,04	4,42	1,57	1,42
Смородина черная	8,63	3,42	4,66	12,87	—
Смородина красная	6,61	2,54	4,08	8,66	—
Крыжовник	4,39	2,22	6,83	5,33	—
Земляника	14,44	3,20	17,07	—	—

Плодовые и ягодные культуры могут реутилизировать питательные вещества, содержащихся в вегетативных органах. Так, азот, фосфор и калий из стареющих органов и тканей переходят в более молодые, а из листьев перед их опаданием осенью — в ветви, ствол и корни, и вторично используются растением следующей весной. Питательные же вещества опавших листьев после разложения органических веществ становятся доступны плодовым и ягодным культурам. Поэтому судить о выносе питательных веществ плодовыми и ягодными культурами, а следовательно, о потребности их в удобрениях можно лишь условно. Для объективного представления о характере питания этих культур и потребности в удобрениях необходимо знать особенности поглощения элементов питания по фенофазам в течение вегетационного периода.

Характер поглощения элементов питания зависит от комплекса условий: содержания и соотношения биогенных элементов в почвенном растворе, реакции среды, водообеспеченности, светового и теплового режима и т. д. Как и у других культур у них существует тесная взаимосвязь между фотосинтезом и корневым питанием. При ослаблении фотосинтеза уменьшается приток ассимилянтов из листьев в корни, что снижает поступление элементов из почвы в растения. В то же время и углеродное питание растений через листья, обмен веществ в значительной мере зависят от поступления элементов питания через корни.

Что касается поступления элементов питания по фенофазам, то наибольшее их поглощение у плодовых деревьев происходит в фазу усиленного роста, а у плодоносящих — во время формирования плодов.

Отчуждение питательных элементов в плодовых насаждениях происходит при обрезке ветвей, снятии плодов, опадании листьев. Причем около 25 % питательных элементов отчуждается с плодами и обрезанными ветвями и 40 % — с листьями.

Своевременная уборка урожая, умеренное азотное питание при достаточной обеспеченности фосфором и калием способствуют закладке плодовых почек и уменьшают периодичность плодоношения.

Размещение корневой системы у плодовых культур различное. У груши она размещается на большей глубине, чем у яблони, у косточковых культур более поверхностная, чем у семечковых. Вер-

тикальные корни плодовых культур углубляются на 10 м. Диаметр круга, занятого корнями, в 1,5–2 раза больше диаметра кроны. Однако плотность корней в пределах проекции кроны обычно в 3–4 раза больше, чем за ее пределами.

Корни черной смородины залегают преимущественно в верхних (до 60 см) слоях почвы и лишь небольшая часть их уходит на глубину 1,5 м. В почвенном слое до 10 см у смородины находится до половины корней. У красной и белой смородины, по сравнению с черной более мощная и глубокая корневая система. У смородины можно выделить три периода жизни, различающихся потреблением питательных элементов: до плодоношения, начало плодоношения и полное плодоношение.

Черная смородина требовательна к уровню питания. Из трех основных элементов минерального питания она больше потребляет азота, меньше калия и еще меньше — фосфора. Интенсивнее всего азот усваивается, когда растения выходят из состояния покоя и во время распускания почек. Максимальное потребление фосфора и калия также приходится на период распускания почек и цветения. Черная смородина из всех ягодных культур самая отзывчивая на внесение фосфорных удобрений. Она хорошо использует питательные элементы из удобрений: коэффициент использования азота — 40–60 %, фосфора — 10–20, калия — 40–50 %.

У красной и белой смородины с урожаем и обрезанными ветвями азота и калия отчуждается больше, чем у черной. Однако их потребность в фосфоре значительно ниже. Красная и белая смородина более чувствительна к хлору, чем черная.

У крыжовника корневая система залегает неглубоко: основная масса корней расположена на глубине 5–40 см. Крыжовник более требователен, чем черная смородина, к уровню калийного питания. Он чувствителен к хлору, и поэтому лучше вносить бесхлорные калийные удобрения. При выращивании крыжовника на легких почвах может ощущаться недостаток магния, это устраняется внесением доломитовой муки (на кислых почвах) или других магнийсодержащих удобрений.

Малина имеет мочковатую корневую систему и основная масса корней у нее залегает в верхних слоях почвы — на глубине 10–30 см. Малина требовательна к плодородию почвы и минеральному питанию. Отличается высоким выносом питательных элемен-

тов, что объясняется образованием множества побегов и отмиранием не менее половины надземной массы. Особенно важен для нее уровень фосфорного питания. Наиболее интенсивно фосфор и калий потребляются в период цветения и завязывания ягод, позже усвоение этих элементов заметно снижается, тогда как потребление азота продолжается и после сбора ягод.

Земляника отличается высоким потреблением элементов питания, хотя с урожаем отчуждается незначительная их часть. Корневая система у земляники мочковатая, разветвленная. У нее самые длинные из всех ягодных культур корневые волоски. Основная масса корней (более 80 %) располагается в верхних слоях почвы. В потреблении питательных элементов выделяются два критических периода: весной, когда происходит дифференциация и закладка цветочных почек, и осенью, в конце вегетации, когда закладываются рожки, плодовые почки и растут корни. В эти периоды земляника должна быть хорошо обеспечена питательными элементами, особенно азотом и фосфором. Максимум потребления питательных элементов наблюдается во время цветения и плодоношения.

Хотя плодовые и ягодные культуры нельзя назвать излишне чувствительными к кислотности почвы, последняя отрицательно на них сказывается. По этому признаку плодовые деревья можно разделить на две группы: слива, вишня, черешня и абрикос, для которых необходима нейтральная реакция (оптимум pH 6,5–7,0), и яблоня и груша, которые хорошо развиваются на слабокислых почвах (pH 6,0–6,5). Ягодные культуры можно разделить на три группы: растения, не переносящие кислых почв и активно отзывающиеся на известкование (смородина, прежде всего черная, оптимум pH 6,0–6,5); растения, хорошо растущие на слабокислых и нейтральных почвах (земляника, оптимум pH 5,5–6,0); растения, не переносящие избыток кальция и требующие известкования только сильнокислых и среднекислых почв (малина, pH 5,5–6,0; крыжовник, pH 5,0–6,0).

Необходимо отметить общую закономерность в потребности плодовых и ягодных культур в элементах питания: повышенное в фазу плодообразования поглощение азота, а также уменьшение закладки плодовых почек и снижение морозостойкости при недостатке фосфора и калия. Наибольшая закладка плодовых почек и морозоустойчивости отмечаются при оптимальном обеспечении их азотом, фосфором и калием.

9.6.2. Удобрение плодовых и ягодных питомников

Удобрение саженцев в плодовом питомнике. В системе мероприятий, направленных на повышение выхода качественного посадочного материала, важное значение имеет обеспечение растений питательными элементами.

Плодовый питомник состоит из отделения маточных насаждений (маточно-подвойный сад, обеспечивающий получение семян для выращивания подвоев; маточно-сортовой сад, обеспечивающий питомник черенками для прививки подвоев, и маточный участок вегетативно размножаемых подвоев), отделения размножения подвоев и отделения выращивания (формирования) привитых и корнесобственных саженцев.

На одном месте выращивать сеянцы и саженцы несколько лет подряд не рекомендуется, поэтому позволяет возвращать растения на прежнее место через несколько лет.

Саженцы плодовых культур отличаются высоким выносом питательных элементов и предъявляют повышенные требования к плодородию почвы и ее водно-физическим свойствам.

К школке сеянцев почву перед посевом готовят летом, при этом под вспашку на глубину 25–30 см с почвоуглубителем вносят 300 т верхового торфа, 30–40 т навоза и по 90 кг д. в. калия и фосфора на 1 га. Уход за школкой заключается в систематическом рыхлении почвы, прополках, поливах и защите растений от болезней и вредителей.

В фазе 3–4 настоящих листьев проводят первую подкормку N_{40-50} , а в начале интенсивного роста, но не раньше, чем через 15–20 дней после первой — вторую в дозе N_{40-45} .

В первое поле питомника при подготовке почвы вносят 80–100 т навоза или компоста, 90 кг фосфора и 120 кг калия на 1 га под вспашку. Эту работу проводят не позже, чем за 2 месяца до осенней посадки деревьев.

Весной перед первой междурядной обработкой подвои подкармливают азотными удобрениями (45–50 кг д.в.). Через месяц подкормку повторяют.

На третьем поле питомника, где выращивают однолетки, рано весной проводят первую подкормку азотными удобрениями (N_{30-45}), а при достижении окулянтами высоты 15–20 см, т. е. в начале их интенсивного роста, — вторую в той же дозе, что и первую.

На четвертом поле отделения формирования питомника, где выращивают двухлетки, удобрения вносят по мере необходимости. Если почва была хорошо заправлена фосфорными и калийными удобрениями, то ограничиваются внесением азотных удобрений в первую половину вегетационного периода (с конца мая до середины июля).

Дозы и сроки внесения удобрений в маточнике вегетативно размножаемых подвоев приведены в табл. 9.26.

Таблица 9.26. Система удобрения в маточнике вегетативно размножаемых подвоев яблони, кг на 1 га д.в.

Звено системы удобрения	Виды удобрений и элементы питания	Обеспеченность почвы питательными элементами	Подвои	
			средне-рослые	слабо-рослые
Под вспашку 1 раз в 4 года	Навоз, т/га	Все уровни	40–45	35–40
	P_2O_5	Низкая	120	105
		Средняя	90	75
Высокая		60	45	
K_2O	Низкая	120	105	
	Средняя	90	75	
	Высокая	60	45	
При посадке растений в борозды	P_2O_5	Низкая	30	25
		Средняя	20	15
		Высокая	10	5
Подкормка 4-летнего и более старого маточника рано весной	N	Низкая	90	75
		Средняя	75	60
		Высокая	60	45
Перед первым окучиванием	N	Низкая	60	45
		Средняя	45	30
		Высокая	30	15
	P_2O_5	Низкая	45	30
		Средняя	30	15
		Высокая	15	—
	K_2O	Низкая	45	30
		Средняя	30	15
		Высокая	15	—

Ягодный питомник (школка) — специализированный севооборотный участок, где доращивают укорененные зеленые и ком-

бинированные черенки (1–2 года), отводки (1 год), выращивают саженцы из одревесневших черенков (1–2 года). Институтом плодородства для выращивания саженцев смородины и крыжовника предложен следующий шестипольный севооборот: I поле — яровые зерновые с подсевом клевера; II — клевер первого года; III — клевер второго года; IV — пропашные (ранний картофель и др.); V — черенки и отводки (доращивание смородины и крыжовника); VI поле — двухлетние саженцы ягодных культур.

Почву под ягодный питомник готовят заранее. После уборки пропашных культур поле перепахивают на глубину перегнойного горизонта с внесением 80–100 т/га торфонавозного компоста и 80–120 кг/га фосфорных и 90–120 кг/га калийных удобрений (лучше сернокислый калий или другие не содержащие хлор удобрения, так как смородина чувствительна к хлору). Для улучшения физических свойств почвы и получения густоразветвленной корневой системы саженцев хорошо внести 100 т/га нейтрального или слабощелочно-го хорошо разложившегося торфа.

В школке первого года, как только растения тронутся в рост, их подкармливают мочевиной или аммиачной селитрой (30–40 кг/га). Если рост замедленный, через 15–20 дней подкормку повторяют. Удобрения лучше вносить перед дождем или при поливе. Можно подкармливать 0,2–0,3%-м раствором минеральных удобрений 200–300 г мочевины на 100 л воды).

В школке второго года в начале вегетации перед первой культивацией проводят подкормку полным минеральным удобрением (по 60–90 кг/га NPK). Зерновые, травы и пропашные культуры удобряются так же, как и в полевых севооборотах, а маточные насаждения плодовых и ягодных культур — как плодоносящий сад (см. табл. 9.28).

9.6.3. Подготовка почвы и внесение удобрений при посадке сада и ягодников

Если почва отводимого для сада участка недостаточно плодородна, то лучше за два-три года до посадки провести на нем окультуривание почвы. Хотя в этом случае деревья будут посажены на несколько лет позже, они обгонят те, что посажены раньше в неокультуренную почву. Окультуривание почвы предполагает

известкование, внесение органических удобрений, посев многолетних трав и сидеральных культур. Прежде всего, на участок вносят 80–120 т/га органических, 90–100 кг/га фосфорных и 100–120 кг/га д. в. калийных удобрений и глубоко вспахивают. Дозы известковых удобрений рассчитывают на весь пахотный горизонт. Лучше две трети дозы известки запахать, а остальное заделать культивацией в верхний слой почвы. Затем участок засевают многолетними бобовыми травами или бобово-злаковыми травосмесями. В год закладки сада зеленую массу последнего укоса запахивают в основную обработку почвы.

Участок со старопахотными, более плодородными почвами готовят за 3–5 месяцев до посадки. Весной или в начале лета высевают сидераты (люпин, горох, фацелию, сурепицу, рапс и т. д.) и в фазе бутонизации запахивают. Перед посевом сидератов вносят 70–90 кг/га азотных и по 90–120 кг/га д. в. — фосфорных и калийных удобрений. Под посевы бобовых культур (люпин, донник и сераделла) азотные удобрения не вносят.

ВНИИС им. Мичурина (РФ) при предпосадочной подготовке почвы на дерново-подзолистых почвах рекомендуется применять 60–80 т/га органических удобрений, 40–60 т/га д. в. азотных, 150–200 кг — P_2O_5 и 200 кг K_2O .

При ускоренной закладке садов без предварительного окультуривания почвы удобрения вносят только при посадке в траншеи или посадочные ямы, а почву в междурядьях окультуривают в последующие годы.

Местное внесение удобрений при посадке обеспечивает питательными элементами деревца и кустарники в первые годы жизни. Особенно важен этот прием, если органические и минеральные удобрения не вносили при подготовке почвы. При механизированной посадке смородины, крыжовника, малины нередко ограничиваются только внесением удобрений перед посадкой, при окультуривании почвы.

Ямы под яблони и груши копают шириной 1,0–1,2 м, глубиной — 0,6 м, для вишни и сливы — 0,8 и 0,6 м, для ягодных кустарников — диаметром 50–60 см, глубиной — 30–35 см. Под яблоню и грушу в яму вносят 30–40 кг перегноя или компостов, под вишню и сливу — 15–25, смородину — 8–10 и крыжовник — 10–12 кг. Слаборазложившийся навоз использовать нельзя, так

как, внесенный на большую глубину, он разлагается в анаэробных условиях с образованием вредных недоокисленных соединений, это может ухудшить приживаемость саженцев. Если под яблоню и грушу внести 30–40 кг качественных органических удобрений, минеральные можно не вносить, особенно на почвах с повышенной и высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия. Группировка почв по их содержанию приведена в табл. 9.27.

Таблица 9.27. Группировка обеспеченности дерново-подзолистых почв подвижными формами фосфора и калия для плодовых культур

Степень обеспеченности почв	Наличие фосфора в почве, мг в 1 кг	Содержание калия в почве, мг в 1 кг
Очень низкая	До 50	До 60
Низкая	51–100	61–140
Средняя	101–150	141–200
Повышенная	151–200	201–250
Высокая	201–250	251–350
Очень высокая	Более 250	Более 350

Дозы фосфорных и калийных удобрений, вносимых в посадочную яму, зависят от обеспеченности почвы этими элементами. При средней обеспеченности под яблоню и грушу вносят по 40 г фосфора и калия, при низкой — до 60 г каждого элемента. Рекомендовавшиеся прежде дозы до 200 г фосфора в посадочную яму в ряде случаев себя не оправдали. По сравнению с дозой 60 г фосфора урожайность не возрастала, а на почвах с высоким его содержанием отмечались симптомы розеточности яблони (чаще — на слаборослых подвоях). Это заболевание развивается при недостатке цинка, который связан с внесением избыточных доз фосфора. Чрезмерный уровень фосфорного питания также неблагоприятно сказывается на доступности меди. Избыток калия тормозит поступление кальция, магния, железа и ряда микроэлементов. Поэтому дозы фосфорных и калийных удобрений следует дифференцировать в зависимости от их содержания в почве.

Дозы фосфорных и калийных удобрений под сливу и вишню вследствие меньшего размера посадочных ям по сравнению с семечковыми снижают в два раза. В первые годы жизни саженцы плодовых культур в достаточной мере обеспечиваются азо-

том из почвы и органических удобрений и азотные удобрения не вносят.

Для ягодных кустарников (смородины и крыжовника) в посадочную яму вносят 20–30 г фосфора и 10–15 г калия. Дозы дифференцируют в зависимости от содержания этих элементов в почве.

Для засыпки ям используется только верхний перегнойный слой почвы, почву подпахотных горизонтов разбрасывают в междурядьях. Органические удобрения равномерно перемешивают со всей почвой, используемой для засыпки ямы. Две трети дозы фосфорных и калийных удобрений высыпают на дно ямы и перекапывают, а остальные перемешивают с почвой, которой засыпается нижняя половина ямы. Каждый саженец плодовых культур поливают 20–30 л воды, затем приствольные круги мульчируют торфом, компостом или перегноем.

В промышленных садах чаще используется траншейный способ посадки деревьев. Траншеи нарезаются плантажным плугом глубиной 45–60 см и шириной 40–50 см. На 100 м траншеи для семечковых культур вносят на дерново-подзолистых почвах 0,8–1,2 т органических удобрений, 4–6 кг фосфора и 2,0–2,5 д. в. — калия. Органические удобрения, как правило, укладывают перед нарезкой полосой по линии будущей траншеи, а фосфорные и калийные лучше высыпать на дно борозды. После засыпки траншеи бульдозером со специальным приспособлением сажают саженцы и делают лунки для полива.

Под смородину, крыжовник и особенно малину органические удобрения вносятся в борозды, нарезанные плугом. Посадку производят машиной.

9.6.4. Удобрение молодого и плодоносящего сада

Хорошая предпосадочная заправка удобрениями гарантирует рост деревьев первые два-три года. Если рост замедляется, весной поверхностно под первое рыхление вносят азотные удобрения в дозе 4–5 г азота на 1 м² приствольного круга и заделывают на глубину 10–12 см.

Первые 4–5 лет удобрения в саду вносят в приствольный круг. Затем зону внесения увеличивают, разбрасывая их по проекции

кроны. Междуябья в молодом саду можно использовать под картофель, корнеплоды и другие культуры. Система удобрения междуябьных культур должна быть направлена на повышение плодородия почвы.

Для четырехлетнего возраста приствольный круг (диаметр 2,0–2,5 м) примерно в два раза шире кроны, у 4–6-летнего дерева (диаметр 2,5–3,0 м) в полтора раза. Приствольные круги содержатся под чистым паром, еще лучше мульчировать их торфом или компостом.

Начиная с третьего-четвертого года жизни в молодом саду на почвах повышенного и среднего уровня плодородия в приствольные круги раз в 2–3 года, а на бедных почвах ежегодно вносят навоз или компост из расчета 6–8 кг на 1 м², или 25–30 кг на одно 3–4-летнее дерево и 40–50 кг на одно 7–8-летнее. Можно использовать сухой птичий помет в дозе 100–250 г на 1 м².

Средние дозы азотных и калийных удобрений — 9 г, фосфорных — 6 г д. в. на 1 м². На почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия дозы этих удобрений увеличивают в 1,5 раза, а с высоким — уменьшают. Лучшим азотным удобрением является мочеви́на, фосфорсодержащим — аммонизированный суперфосфат, аммофос, из калийных могут применяться хлористый калий и другие формы. Многолетние исследования Украинского НИИ садоводства не подтвердили распространенное в литературе мнение, что плодовые культуры отрицательно реагируют на хлор. По данным этого института, под влиянием хлора повышается морозостойкость деревьев.

Дозы удобрений на одно дерево с учетом возраста определяют следующим образом. Если дереву 6 лет, то диаметр приствольного круга примерно равен 3 м (6:2), а площадь — 7 м². При дозах удобрений на 1 м² приствольного круга 6 кг навоза, по 9 г азота и калия и 6 г фосфора под одно дерево вносят 42 кг навоза, по 54 г азота и калия и 42 г д. в. фосфора.

Фосфорные и калийные удобрения лучше вносить осенью и заделывать около ствола на глубину 10–15 см и на периферии кроны на 18–20 см. Если удобрения не вносились осенью, можно сделать это весной. Из плодовых культур менее отзывчива на фосфорные удобрения груша, которая лучше других использует фосфор из запасов почвы. Дробное внесение азотных удобрений (две трети

весной в фазе интенсивного роста корней и побегов и одна треть в середине лета) повышает их эффективность.

С началом плодоношения увеличивается вынос питательных элементов из сада. Если первые 4–5 лет после посадки саженцев в питание всех плодовых культур преобладает азот, то позднее яблони и груши выносят больше калия, поэтому дозы калия под семечковые увеличивают. В период массового плодоношения междуябьные культуры лучше не возделывать. Система содержания почвы в плодоносящем саду может быть паровой, паро-сидеральной или газонной (дерново-перегнойной). В Беларуси чаще используется паровая система. Средние дозы удобрений для плодоносящих садов при паровой системе содержания почвы приведены в табл. 9.28. На почвах с низким содержанием фосфора и калия поправочный коэффициент к средней дозе равен 1,3, с повышенным содержанием — 0,75, высоким — 0,5 и очень высоким — 0,25. Фосфорные и калийные удобрения дают высокий эффект при внесении в период покоя (с октября до начала вегетации). Поэтому, если фосфорные и калийные удобрения не были внесены осенью, это надо сделать рано весной. В приствольных кругах удобрения лучше заделывать на глубину 10–15 см, а в междуябьях — до 20 см. Особенно осторожно обрабатывают почву под яблонями на слаборослых подвоях, корневая система которых расположена поверхностно.

Таблица 9.28. Дозы органических (т/га) и минеральных (кг/га д. в.) удобрений для плодоносящих садов и ягодников

Удобрения	Семечковые		Косточковые		Смородина		Крыжовник	
	начало плодоношения	полное плодоношение	начало плодоношения	полное плодоношение	начало плодоношения	полное плодоношение	начало плодоношения	полное плодоношение
Навоз*	15	15	10	15	15	20	15	20
N	80	100	50	90	60	90	60	90
P ₂ O ₅	60	90	50	60	80	120	60	90
K ₂ O	90	120	50	90	60	90	80	120

* Органические удобрения вносят в дозе 40–45 т/га раз в три года в плодовых насаждениях.

Семечковые культуры на почвах, среднеобеспеченных фосфором, умеренно отзываются на фосфорные удобрения, а при высоком содержании калия — очень слабо и на калий. Фосфорные и калийные удобрения можно применять в запас на два-три года. В опытах БГСХА на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах внесение в запас на два года осенью под вспашку 120 кг/га фосфора и 180 кг/га калия давало такой же эффект, как и ежегодное внесение 60 кг фосфора и 90 кг калия. Однако при внесении фосфорных и калийных удобрений в запас важно обеспечить растения магнием, бором и цинком.

Дозы азотных удобрений под семечковые культуры корректируют с учетом погодных условий: в холодный и влажный год их увеличивают на 20–30 %, в сухой и теплый — наполовину снижают. Многочисленные исследования подтверждают, что дозы азота более 120 кг/га себя не оправдывают. Избыток азота во второй половине вегетации может задержать вызревание побегов и снизить морозостойкость деревьев. Наилучшие результаты дает дробное внесение азота: 40 % дозы рано весной, 30 — после цветения и 30 % — осенью. Очень важно обеспечить плодовое дерево питательными элементами во время второй волны активного роста корней (конец сентября — начало октября), когда накапливаются резервные питательные вещества, от чего зависит морозоустойчивость, рост и урожайность растений в следующем году. Удобрения, внесенные осенью, используются деревьями до наступления зимы, а в незамерзающих слоях почвы корни растут и используют питательные элементы и зимой. Поэтому в последнее время рекомендуют вносить примерно 30 % дозы азота осенью после уборки урожая. Дозы азотных, фосфорных, калийных и других удобрений можно корректировать, используя листовую диагностику (см. гл. 2 «Диагностика питания растений»).

При задернении сада фосфорные и калийные удобрения лучше вносить в запас на два-три года, так как, внесенные поверхностно, они из-за малой подвижности будут использоваться только травами. При задернении обязательны поливы и азотные подкормки, причем последние должны учитывать потребность многолетних трав.

При паро-сидеральной системе почву с весны обрабатывают по типу черного пара, а в середине лета на зеленое удобрение

высевают однолетние травы (люпин, вико-овсяную смесь, фацелию и др.). Перед севом трав в почву вносят по 50–70 кг/га азота, фосфора и калия (под люпин азотные удобрения не вносят). Заделывают сидераты осенью или весной, внося для ускорения разложения 50–60 кг/га азота. Сидераты рекомендуется высевать раз в три года.

Чтобы увеличить доступность удобрений, их вносят очагами — в скважины, борозды в междурядьях, канавки. В молодых садах борозды (25–30 см) нарезают в 1–1,5 м от штамба, позже — чем старше деревья, тем дальше делается первая борозда; расстояние между бороздами — 0,8–1 м.

В промышленных садах интенсивного типа все шире используется глубокое очаговое внесение растворенных, эмульгированных или суспендированных удобрений гидробуром, шприцами и турбобурами. Этот способ особенно хорош для семечковых культур, выращиваемых на сильнорослых подвоях при задернении сада. Для удобрения одного 15–20-летнего дерева делают около 20 скважин глубиной 40–60 см. В них вносят сухие или растворенные удобрения. Для приготовления растворов пригодны все азотные и калийные удобрения, а из фосфорных — только аммонизированный суперфосфат, аммофос. Можно использовать и комплексные удобрения. Особенно хорош для этой цели кристаллин и другие удобрения, полностью растворимые в воде. Осенью раствор готовят 7–8%-й концентрации, во время вегетации максимальная концентрация — 3–5 %. Недостаток кальция вызывает камедетечение слив, это устраняется известкованием.

Для оптимизации минерального питания плодовых культур проводят внекорневые подкормки макро- и микроэлементами: раствором мочевины; солями кальция против горькой ямчатости; растворами микроэлементов при признаках недостатка последних. Лучшее время опрыскивания растений — утро или вечер, в пасмурную погоду также днем. Обработка раствором мочевины эффективна, когда ожидается очень высокий урожай и закладка цветочных почек из-за нехватки азота находится под угрозой. Опрыскивание проводят спустя 8–10 дней после цветения. Для яблони используют 0,4–0,5%-й раствор мочевины, для груши вдвое слабее, сливы — 0,6–0,8%-й и вишни — 0,4–0,8%-й.

Против горькой ямчатости и бурой гнили плодов яблони и груши сад 6–8 раз обрабатывают 0,5–1%-м раствором нитрата или хлорида кальция. Первую подкормку проводят сразу после распускания листьев.

Некорневые подкормки микроэлементами наиболее эффективный способ использования микроудобрений в таблице 9.29 приведены рекомендуемые дозы концентрации раствора и сроки проведения некорневых подкормок садовых культур микроудобрениями.

Таблица 9.29. Дозы микроудобрений для проведения некорневых подкормок плодовых растений

Элемент	Удобрение	Концентрация раствора, %	Доза, г на 10 л воды	Сроки опрыскивания
Марганец	Сульфат марганца	0,05–0,10	5–10	По листьям
Бор	Борная кислота	0,05–0,15	5–15	1-е — после цветения, 2-е — во время роста плодов и ягод
Медь	Сульфат меди	0,02–0,05	2–5	По листьям
Цинк	Сульфат цинка	0,05–0,10	5–10	По листьям
Молибден	Молибдат аммония	0,01–0,03	1–3	По листьям
Кобальт	Сульфат кобальта	0,005–0,01	0,5–1,0	По листьям

При слабом поражении яблони розеточностью из-за недостатка цинка эффективны двух-трехкратные внекорневые подкормки 0,3–0,5%-м раствором сульфата цинка. При очень низком содержании в почве водорастворимого бора (менее 0,1 мг/кг) уменьшается завязывание плодов, появляется опробкование, это можно устранить внекорневыми подкормками 0,05%-м раствором борной кислоты. Расход раствора — 800 л/га.

Внекорневые подкормки плодовых культур совмещают с обработкой против вредителей и болезней. При совместном применении нескольких микроэлементов доза каждого уменьшается в два раза.

Улучшить питание плодово-ягодных культур можно с помощью некорневых подкормок их растворами комплексных удоб-

рений. Для некорневых подкормок можно использовать водорастворимые комплексные удобрения в концентрациях от 0,3–0,5 до 1–2 % в зависимости от содержания в них макро- и микроэлементов.

Для достижения максимального эффекта следует учитывать их сбалансированность по основным макроэлементам в период роста плодов и ягод соотношение N:K составляет более единицы. В период роста плодов и ягод соотношение N:K изменяется в пользу калия, а к моменту их созревания азота в составе комплексных удобрений по отношению к калию минимизируется. При созревании плодов необходимо использовать комплексные удобрения с повышенным содержанием магния и кальция.

В последнее время в Беларуси зарегистрировано 8 марок водорастворимых комплексных удобрений (табл. 9.30). Эти удобрения рекомендуется применять в следующие сроки в дозе 3 л/га — перед цветением, после цветения и в период роста плодов и ягод. Расход рабочего раствора — 1000 л/га.

Таблица 9.30. Перечень и химический состав комплексных водорастворимых удобрений, зарегистрированных для применения в садоводческих хозяйствах Беларуси

Марка	Содержание, %											
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	B
КомплеМет СО	0,56	7,4	8,3	—	—	0,58	—	1,5	0,9	1	0,015	0,45
Эколист сад	—	—	—	—	4,6	—	0,80	0,80	0,32	0,48	0,004	0,72
Эколист макро 35+Mg	26	—	—	—	3,5	—	0,02	0,01	0,20	1	0,005	0,02
Эколист макро 12-4-7	12	4	7	—	—	—	0,02	0,005	0,01	0,01	0,005	0,02
Эколист макро 6-12-7	6	12	7	—	—	—	0,02	0,5	0,01	0,01	0,005	0,04
Агролиф Пауер калий	15	10	31	—	—	—	0,14	0,07	0,07	0,07	0,001	0,03
Агролиф Пауер Тотал	20	20	20	—	—	—	0,14	0,07	0,07	0,07	0,001	0,03
Агролиф Пауер кальций	11	5	19	9	2,5	—	0,25	0,05	0,03	0,13	0,02	0,04

9.6.5. Удобрение ягодных культур

На хорошо заправленных почвах черная смородина и крыжовник несколько лет не нуждаются в фосфорных и калийных удобрениях, можно ограничиться внесением азотных. Для формирования сильных кустов весной до распускания почек на плодоносящей плантации вносят 60 кг/га азотных удобрений. Средние дозы удобрений на плодоносящих плантациях смородины и крыжовника приведены в табл. 9.31. Смородина более требовательна к уровню фосфорного питания, крыжовник — калийного. При низкой обеспеченности почвы фосфором и калием средние дозы фосфорных удобрений увеличивают на 25 %, при повышенной — наполовину снижают. В год внесения органических удобрений (их вносят раз в два года) минеральные удобрения не применяют.

Таблица 9.31. Удобрения смородины, крыжовника и малины

Возрастной период	Основное				Подкормка		
	Органические	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	т/га	кг/га					
Перед посадкой	100	—	100–120	100–120	—	—	—
До вступления в плодоношение	—	—	—	—	60	—	—
Начало плодоношения	—	—	—	—	60	90* 60	60* 90
Полное плодоношение	—	—	—	—	90	120* 90	90* 120

* Дозы для черной смородины

Удобрения под смородину и крыжовник можно вносить в борозды. Для этого один раз в три-четыре года почву в междурядьях пахут всвал. В ближайшие к кустам борозды (25–30 см) заделывают навоз и фосфорно-калийные удобрения, закрывая их при пахоте вразвал. Фосфорные и калийные удобрения можно вносить в запас на 2–3 года (под вспашку осенью), азотные — ежегодно, весной под культивацию. При высоком урожае смородины и крыжовника последние вносят в два срока: рано весной и в фазе зеленой завязи (подкормка).

Малина очень отзывчива на внесение органических удобрений. Перед закладкой плантации малины осенью после уборки культуры, предшествовавшей черному пару, вносят 100 т/га органических удобрений, 100–120 кг/га фосфорных и 100–120 кг/га калийных. Дозы фосфорных и калийных удобрений корректируют с учетом содержания этих элементов в почве. После внесения удобрений проводят глубокую вспашку с дискованием и выравниванием почвы планировщиком.

Траншейный способ подготовки почвы позволяет в 2–3 раза уменьшить расход органических удобрений по сравнению со сплошным окультуриванием почвы. Удобрения вносят в траншею при посадке растений осенью или весной. Для этого используют разбрасыватель РПТМ-2, ОА или переоборудованный кормораздатчик с боковым выбросом смеси удобрений. На 100 м траншеи вносят 3–5 т органических, 10 кг фосфорных и 20 кг калийных удобрений.

При хорошей предпосадочной заправке почвы в первые два–три года малину можно не удобрять. Только при слабом росте растений в первый и второй год весной их подкармливают азотом (60 кг/га). В дальнейшем внесение удобрений обязательно. В период полного плодоношения вносят 90 кг/га азота, 60–120 — фосфора и 90–120 кг/га калия. Конкретные дозы фосфорных и калийных удобрений зависят от содержания этих элементов в почве: при средней обеспеченности ими это 90 кг/га P₂O₅ и 120 кг/га K₂O, при низкой и повышенной выше или ниже средних на 30 %.

Лучшее время внесения азотных удобрений под малину — весна — до рыхления почвы после схода снега, органических (мульчирование) — после рыхления почвы, фосфорных и калийных — осень. Доза мульчи (торф, компост) — около 60 т/га. Мульча заделывается при осенней обработке почвы. Фосфорные и калийные удобрения могут вноситься и весной, вместе с азотными. При заделке удобрений глубина обработки почвы в междурядьях малины — 12–15 см.

Малина очень восприимчива к недостатку магния, который особенно часто проявляется на легких почвах и при внесении повышенных доз калийных удобрений. Потребность в магнии будет удовлетворена, если до посадки малины было проведено известкование доломитовой мукой. Недостаток магния можно устранить

внесением невысоких доз доломитовой муки (0,5 т/га) в том случае, когда не проводилось известкование или применялись известковые удобрения, не содержащие магния (мел и т. д.).

Землянику возделывают в специальных севооборотах. Высокие урожаи она дает на плодородных, хорошо окультуренных почвах, содержащих не менее 150–180 мг в 1 кг подвижного фосфора и 160–200 мг подвижного калия. Поэтому перед посадкой проводят глубокую обработку почвы, вносят удобрения, очищают поле от сорняков, а кислые почвы (рН ниже 5,2) известкуют. В качестве органических удобрений лучше использовать полуперепревший навоз, перегной и хорошо вызревший компост в дозе 80–100 т/га. Их заделывают вспашкой не позднее чем за 7–10 дней до посадки. Нельзя использовать свежий навоз, так как он плохо перемешивается с почвой, корни, соприкасаясь с ним, плохо приживаются и растения могут выпадать. Свежий навоз вносят только под предшественник.

Фосфорные и калийные удобрения можно внести в запас на три года вместе с органическими удобрениями, но можно вносить и ежегодно. В первом случае средние дозы фосфора 100–120 кг/га, калия — 110–120, во втором — по 40–50 кг/га.

При хорошей заправке почвы органическими и минеральными удобрениями на плантациях первого и второго года жизни удобрения обычно не вносят. Если растения отстают в росте, весной вносят 30–40 кг/га азота, однако при избытке последнего вегетативная масса может развиваться в ущерб плодоношению.

На второй год после сбора ягод проводят подкормку ($N_{30}P_{40}K_{90}$), на третий и последующий годы рано весной вносят 20–40 кг/га азота, а после сбора ягод и скашивания листьев 40 кг/га фосфора и 40–50 — калия.

Исследования показали, что двукратная обработка растений — в начале цветения и во время роста завязей — 0,01–0,02%-м раствором сернокислого цинка повышает урожайность земляники на 15–20 %. Эффективны также в начале роста подкормки раствором из микроэлементов и мочевины (по 0,02 % перманганата калия, борной кислоты и молибденовокислого аммония и 0,2 % мочевины).

9.7. Удобрение овощных культур

Овощные культуры требовательны к почвам и дают хорошие урожаи на окультуренных дерново-подзолистых, пойменных и торфяных почвах низинного типа. Для них используется своя группировка почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия (табл. 9.32) и более высокие дозы удобрений.

Таблица 9.32. Группировка почв по содержанию подвижных форм фосфора и калия для овощных культур, мг в 1 кг почвы (по Кирсанову в 0,2 М НСІ)

Обеспеченность почвы элементами питания	Дерново-подзолистые		Торфяные	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Низкая	80–150	80–140	До 200	До 250
Средняя	151–200	141–200	201–400	251–350
Повышенная	201–300	201–250	401–600	351–500
Высокая	Более 300	Более 250	Более 600	Более 500

Корневая система у овощных культур располагается в пахотном горизонте. Учитывая слабое развитие корневых систем у большинства овощных культур, их следует выращивать на плодородных, хорошо аэрируемых почвах с содержанием гумуса 2,5–4 %, подвижного фосфора не менее 150–200 мг/кг, подвижного калия — 160–200 мг/кг почвы.

При снижении содержания гумуса до 1,5–2,0 % потери урожая составляют 12–27 %, а при содержании гумуса менее 1,5 % возделывание овощей становится нерентабельным. По выносу элементов питания овощные культуры делят на четыре группы: 1) с высокой — средние и поздние сорта капусты; 2) средней — томаты, лук, свекла, морковь; 3) низкой — огурец, зеленые овощи; 4) очень низкой — редис.

При оценке пригодности почв для выращивания овощных культур необходимо учитывать содержание подвижного алюминия. Оно не должно превышать 30–40 мг/кг почвы, а для отдельных культур (лук, салат, шпинат, чеснок) — более 10 мг. Уровень грунтовых вод весной должен быть не выше 60 см и в период вегетации — не выше 70–80 см. На торфяных почвах — не выше — 120–130 см.

Чтобы улучшить плодородие почв с низким содержанием гумуса, необходимо систематически вносить органические удобрения: навоз, торфонавозный компост — по 60–80 т/га в начале

окультуривания и по 20–40 т/га при достижении хорошего уровня плодородия почвы. Вносить органические удобрения необходимо под вспашку или перекопку, глубина которых не менее 25–30 см. Выращивать овощи на таких почвах нужно на грядках и гребнях.

Из запасов почвы разные культуры используют от 5 до 10 % фосфора и от 30 до 60 % калия, а из минеральных удобрений — 50–70 % азота, 15–30 — фосфора и 60–80 % калия. Разные овощные растения требуют разной концентрации солей в почве. Под некоторые культуры можно повышать дозы удобрений, не опасаясь причинить им вред. Самые чувствительные к концентрации солей — лук и чеснок. Под них лучше вносить навоз, а минеральные удобрения в небольших дозах сочетать с органическими. Свекла, томаты, морковь хорошо реагируют только на минеральные удобрения и для них органические удобрения можно вносить под предшественник.

Реакция растений на концентрацию почвенного раствора во многом зависит от их биологических особенностей и свойств почвы, в первую очередь от буферности и влагоемкости, а также от содержания органического вещества, обуславливающего ее поглотельную способность. Так, высокая концентрация солей в торфяной почве не угнетает овощные культуры, а те же дозы на супесчаной почве приостанавливают их рост.

На кислых почвах могут расти томат, редька, репа; плохо переносят кислотность капуста, свекла, огурцы, морковь, бобы, сельдерей, лук. Редис, капуста, горох хорошо растут на слабокислых и нейтральных почвах, а салат, фасоль, шпинат и чеснок — только на нейтральных.

Особенности культур усваивать питательные элементы из почвы обусловлены их биологией: строением корневой системы, длиной вегетационного периода и т. д. Капуста потребляет элементы очень интенсивно, лук, морковь, столовая свекла — медленно, томаты занимают промежуточное положение. Дозы удобрений под овощные культуры приведены в таблице 9.33.

Основное количество органических и фосфорно-калийных удобрений вносят под осеннюю вспашку почвы, а азотные — весной. Для мелкосемянных и ранних культур возможно также внесение удобрений при посеве (табл. 9.34).

Таблица 9.33. Дозы удобрений под овощные культуры, кг/га д.в.

Культура	Урожайность, ц/га	Дозы азотных удобрений при степени окультуренности почв			Дозы фосфорных удобрений при обеспеченности почв P ₂ O ₅				Дозы калийных удобрений при обеспеченности почв K ₂ O				
		средней	хорошей	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой	
Дерново-подзолистые почвы													
Капуста белокочанная*	400	110	90	60	60	30	—	—	120	90	60	30	
	600	120	110	100	120	90	60	—	150	140	120	90	
	800	—	120	120	—	120	90	60	—	150	150	140	
Свекла столовая	300	90	60	30	60	30	—	—	—	90	60	30	
	400	90	90	60	90	60	30	—	100	100	90	60	
	500	90	90	90	120	90	60	30	120	120	120	90	
Томаты	200	60	30	—	90	60	30	—	—	60	30	—	
	300	90	60	30	120	90	60	30	90	90	60	30	
	400	90	90	60	—	120	90	60	120	120	90	60	
Морковь	400	30	—	—	90	60	30	—	120	90	60	—	
	500	60	30	—	120	90	60	30	150	120	90	60	
	600	90	60	30	—	120	90	60	—	150	120	90	
Огурцы*	100	30	—	—	90	60	30	—	90	60	30	—	
	200	60	30	—	120	90	60	30	120	90	60	30	
	300	90	60	30	—	120	90	60	—	120	90	60	
Минеральные пойменные почвы													
Капуста ранняя*	300	60	30	—	—	40	20	20	—	90	60	30	
	400	90	60	30	—	60	40	20	—	120	90	60	
	500	120	90	60	—	80	60	40	—	150	120	90	
Капуста среднепоздняя*	400	60	30	30	—	40	20	—	—	150	120	90	
	600	110	90	60	—	80	60	40	—	180	180	150	
	800	120	120	110	—	110	100	80	—	210	210	150	

Окончание табл. 9.33

Культура	Урожайность, ц/га	Дозы азотных удобрений при степени окультуренности почв			Дозы фосфорных удобрений при обеспеченности почв P ₂ O ₅				Дозы калийных удобрений при обеспеченности почв K ₂ O			
		средней	хорошей	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой
Морковь	300	30	—	—	60	10	10	30	90	60	30	
	500	90	30	30	80	60	10	150	120	90	90	
Свекла столовая	300	30	—	—	60	40	10	90	60	30	30	
	500	90	30	30	80	60	10	150	120	90	90	
Торфяники												
Морковь	300	30	—	—	60	40	10	90	60	30	30	
	500	60	30	—	100	80	60	150	120	60	60	
Свекла столовая	300	30	—	—	60	40	10	90	60	30	30	
	500	60	30	—	100	80	60	150	120	90	90	

* На дерново-подзолистых и пойменных почвах фон для капусты — 40 т/га, огурцов — 60–80 т/га навоза.

Таблица 9.34. Дозы удобрений в рядки и при подкормке овощных культур, кг/га

Культура	В рядки при посеве (посадке)			Первая подкормка			Вторая подкормка		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста белокочанная:	14	20	10	20	—	30	—	—	—
	15	15	15	30	20	30	40	—	60
Морковь	—	10	—	15	10	20	—	—	—
Столовая свекла	10	10	10	20	15	30	20	—	60
Огурцы	10	10	10	20	20	20	15	—	40
Томаты	10	10	10	15	20	15	30	—	30
Лук репчатый	—	10	—	15	15	20	20	—	30

На рядковое внесение отзывчивы редис, шпинат, салат, укроп, морковь и свекла (на пучковую продукцию). Под морковь и репчатый лук в рядки вносится только фосфор (гранулированный суперфосфат), а под огурцы, свеклу, томаты, капусту белокочанную, среднепозднюю — полное минеральное удобрение. Удобрение в рядках должно располагаться в 2–3 см от семян. При механизированной посадке рассады удобрения вносят с водой (концентрация раствора до 0,2 %).

Если в основную заправку внесены не все удобрения, растения подкармливают азотными, а при необходимости и полными удобрениями при междурядной обработке. Первую подкормку проводят через 30–35 дней после посева (при появлении третьего настоящего листа) или через 10–15 дней после посадки рассады, вторую — в период интенсивного роста растений. Удобрения вносят культиватором-растениепитателем: при первой подкормке на расстояние 6–8 см от растений на глубину 5–8 см, при второй — в середину междурядья на глубину 10–12 см.

Формы минеральных удобрений подбираются с учетом биологических особенностей овощных культур. ООО «РосБелХим» разработаны комплексные удобрения (ЖКУ) марки «Витоктейль для овощных культур, содержащих азот, фосфор, калий, кальций, магний, медь, цинк, молибден, бор, селен». РУП «Институт овощеводства» разработаны рекомендации по применению ЖКУ марки «Витоктейль» (Мультивит «Плюс», Мультивит «Универсальный») и другие под овощные культуры (табл. 9.35).

Таблица 9.35. Сроки и дозы внесения ЖКУ марки «Витоктейль» в некорневые подкормки овощных культур

Культура	1-я подкормка		2-я подкормка		3-я подкормка	
	Фаза роста и развития	Доза, л/га	Фаза роста и развития	Доза, л/га	Фаза роста и развития	Доза, л/га
Капуста	Через 12 дней после высадки рассады	4,5	Начала роста объема начала (массовое нарастание розетки листьев)	4,5	Начало нарастания массы кочана	4,8
Свекла столовая	Наращение вегетативной массы	4,2	Начало образования корнеплода	4,5	За 3 недели до уборки урожая	4,2

Окончание табл. 9.35

Культура	1-я подкормка		2-я подкормка		3-я подкормка	
	Фаза роста и развития	Доза, л/га	Фаза роста и развития	Доза, л/га	Фаза роста и развития	Доза, л/га
Морковь столовая	Наращение вегетативной массы	3,9	Начало образования корнеплода	4,2	За 3 недели до уборки урожая	3,9
Огурец	3–4-го настоящего листа	2,7	Массовое цветение	2,7	После 7-го сбора плодов	3,3
Томат	5–6-го настоящего листа	2,1	Цветение 2-й кисти	2,7	После 4-го сбора плодов	3,0
Лук-репка	Рассадная	—	Начало формирования луковицы	—	За 4 недели до уборки урожая	—

В Беларуси также производятся жидкие комплексные удобрения для овощных культур (см. Главу 5 «Комплексные удобрения»).

Белокочанная капуста хорошо растет на плодородных почвах со слабокислой или нейтральной реакцией (рН 6,5–7,2), на кислых она поражается килой, причем ранняя сильнее, чем поздняя. Удельный вынос с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции у белокочанной капусты составляет 4 кг N, 1,0 P₂O₅, 4,3 K₂O, 5,8 CaO, 2,0 MgO и 2,0 кг SO₄. Максимум питательных элементов потребляется при формировании кочана. Дозы удобрений приведены в табл. 9.33.

Навоз и фосфорно-калийные удобрения под капусту вносят осенью или весной под вспашку, азотные — незадолго до высадки рассады. Предельная доза азота — 120 кг/га. Местное внесение при посадке по 15 кг/га д. в. сложных удобрений (нитроаммофоска, нитрофоска, АФК и др.) увеличивает урожайность на 50 ц/га. Одну-две подкормки капусты проводят главным образом азотно-калийными удобрениями перед формированием кочана при планировании высоких урожаев средне- и позднеспелых сортов (табл. 9.34). Под капусту применяют сульфат аммония, мочевины, аммонийную селитру, аммонизированный суперфосфат, аммофос, хлористый калий и другие формы однокомпонентных и комплексных удобрений. Капуста хорошо отзывается на серосодержащие удобрения. При возделывании капусты на произвесткованных

почвах проявляется потребность в боре. Его вносят в некорневую подкормку в дозах 100–120 г/га. Для некорневых подкормок применяют также многокомпонентные жидкие комплексные удобрения (ЖКУ): Мультивит «Плюс», Мультивит «Универсальный», Эколист «Стандарт», Эколист РК-1. Сроки проведения подкормок: первая — через 12 дней после высадки рассады (4,5–4,8 л/га), вторая — в фазу массового нарастания листьев (4,5–5,7 л/га), третья — начало формирования кочана.

Столовые корнеплоды. Столовая свекла с 1 т основной продукции и соответствующим количеством ботвы выносит 5 кг N, 1,6 P₂O₅ и 7,4 K₂O, морковь соответственно 3,4, 1,1 и 4,5 кг. Наибольшее количество питательных элементов поглощается в период интенсивного роста корнеплодов.

Оптимальная реакция почвы для столовой свеклы близка к нейтральной (рН 6,2–7,5), моркови — рН 6,0–6,5. В отличие от столовой свеклы морковь не переносит избытка кальция, поэтому известкование под нее проводят под предшественник.

И свекла, и морковь — калиелюбивые культуры и на единицу товарной части урожая потребляют значительно больше калия, чем азота. Морковь отрицательно реагирует на высокие концентрации почвенного раствора. На окультуренных почвах она не отзывается на большие дозы удобрений и дает высокую урожайность при их умеренном внесении. Предельная доза азота под морковь — 90 кг (на торфяниках — 30–60 кг), столовую свеклу — 90 кг/га (на торфяниках — 40–70 кг).

Столовая свекла требовательна к бору. При недостатке бора (особенно после известкования) она снижает урожайность и может заболеть гнилью сердечка. Это устраняется внесением 1,0–1,5 кг/га бора в основное удобрение или 350–400 г/га при некорневой подкормке, когда растения находятся в фазе 10–12 настоящих листьев.

Морковь и столовая свекла положительно реагируют на натрий, поэтому в качестве калийных удобрений лучше использовать калийную соль. Столовые корнеплоды отзывчивы на внесение перепревшего навоза (30–40 т/га), однако нельзя использовать слабепрепавший навоз — это может вызвать разветвление корнеплодов, ухудшить их форму (особенно у моркови), что снижает лежкость и товарную ценность продукции. Поэтому столовые кор-

неплоды рекомендуется размещать на второй год после внесения органических удобрений. Дозы удобрений под морковь и свеклу приведены в табл. 9.33.

Система удобрения столовых корнеплодов состоит из допосевного (основного) внесения и внесения небольших доз минеральных удобрений при посеве. На посевах свеклы можно проводить две, моркови — одну подкормку минеральными удобрениями (табл. 9.34). Срок первой подкормки моркови — через две-три недели после всходов, столовой свеклы — при появлении 1–2 настоящих листочков, второй — в начале формирования корнеплода.

Эффективным является проведение 3 некорневых подкормок столовой свеклы ЖКУ Мультивит «Универсальный» в начале нарастания вегетативной массы (4,2 л/га), в начале образования корнеплода (4,5 л/га) и за 3 недели до уборки урожая (4,2 л/га). Морковь ЖКУ Мультивит «Универсальный» можно подкармливать в начале интенсивного нарастания вегетативной массы (3,9 л/га), в начале образования корнеплода (4,2 л/га) и за 3 недели до уборки урожая (3,9 л/га).

Огурцы. Короткий вегетационный период огурцов (от 40 до 75 дней в зависимости от сорта) и слабая корневая система делают эту культуру требовательной к плодородию почв. Огурцы размещают на окультуренных почвах с высоким содержанием гумуса и обязательно вносят органические удобрения. Максимальное потребление питательных элементов приходится на период плодообразования. На каждые 10 ц плодов огурцы из почвы выносят 1,3 кг N, 0,5 — P₂O₅ и 2,3 кг K₂O. Огурцы не любят кислых почв, оптимальный интервал pH 6,5–7,0. Известкование лучше проводить под предшественник, а под огурцы — небольшими дозами (1–2 т/га). Огурцы очень отзывчивы на повышенные дозы органических удобрений. Навоз улучшает тепловой режим, усиливая микробиологическую деятельность почвы, повышает снабжение растений углекислотой, которая хорошо усваивается его стелющимися листьями. Хороший эффект дает сочетание органических и минеральных удобрений.

Огурцы не переносят высокой концентрации почвенного раствора, поэтому система удобрения включает основное внесение, припосевное и подкормки (табл. 9.33, 9.34). Первую подкормку проводят спустя 15–20 дней после посадки, вторую — в начале цве-

тения. Лучше применять концентрированные удобрения. Хороший эффект дает обработка семян 0,1%-м раствором бора. Предельно допустимая доза азота для огурцов — 90 кг/га.

Для некорневых подкормок можно применять многокомпонентные удобрения Мультивит «Плюс», Мультивит «Универсальный» (2,7–3,3 л/га), Эколист РК (3,6 л/га). Этими удобрениями проводят 3 некорневые подкормки. Фазы роста и развития указаны в табл. 9.35.

Томаты высаживают рассадой. Они потребляют относительно других овощных культур немного элементов питания. В расчете на 1 т плодов томат потребляет 1,6 кг N, 0,5 — P₂O₅ и 2,8 кг K₂O. Томат хорошо растет на окультуренных слабокислых почвах (pH 5,6–5,7). Известковать лучше доломитовой мукой и осторожно, так как томаты плохо переносят избыток кальция.

Корневая система томатов хорошо развита, мочковатая, проникает в почву на 100–120 см. В начале роста недопустим избыток азота, так как сильное развитие вегетативной массы ослабляет плодоношение. Поэтому азот лучше вносить дробно: до посадки и в подкормку. Наиболее интенсивно азот и калий потребляются при активном накоплении органического вещества. Томаты очень отзывчивы на фосфорные удобрения. Поглощение фосфора заканчивается, когда нарастет листовая масса и начнут завязываться плоды. Если от азота интенсивно нарастает вегетативная масса, образуются пасынки и затягивается созревание плодов, то фосфорные и калийные удобрения на умеренном азотном фоне способствуют дружному созреванию плодов и улучшению их качества.

Плоды наливаются в основном за счет передвижения элементов питания из вегетативных органов. Из всех усвоенных растением элементов питания плоды накапливают 70 % азота и фосфора и 90 % калия.

Под томаты вносят 30 т/га перегноя или 20–30 т/га перепревшего навоза или компоста. Хорошие урожаи получают также при размещении по удобренному навозом предшественнику. На окультуренных почвах можно ограничиться только минеральными удобрениями. Но эффективнее внесение минеральных удобрений на фоне небольших доз органических. Система удобрения томата складывается из основного удобрения, внесения небольших доз минеральных удобрений при посадке и подкормки (табл. 9.33, 9.34).

На почвах с низким содержанием бора, цинка и марганца вносят микроэлементы. Борные удобрения повышают сахаристость плодов и содержание в них витамина С. Их вносят до посева в дозе 1–2 кг/га бора, а при некорневой подкормке — 85 г/га д. в. на 1 га или другое борное микроудобрение.

Некорневые подкормки микроэлементами проводят в фазу начала цветения и в фазу начала роста плодов на второй кисти при расходе рабочей жидкости — 300–400 л/га и нормы маточного раствора 2,5 л на 100 л воды. По мере необходимости проводят 3 некорневые подкормки ЖКУ «Витококтейль» в фазе 5–6 настоящих листьев (2,1 л/га), цветение 2 кисти (2,7 л/га) и после 4 сбора плодов (3 л/га).

Репчатый лук предпочитает окультуренные супесчаные и легкосуглинистые почвы. Хорошие урожаи дает и на низинных торфяниках, однако избыток азота затягивает созревание луковиц и они плохо хранятся. Оптимальна близкая к нейтральной реакция почвы (рН 6,0–7,0). Корневая система у лука развита слабо.

Лук чувствителен к концентрации солей в почве, поэтому минеральные удобрения вносят в несколько приемов. Он хорошо отзывается на внесение перепревшего навоза или перегноя (30 т/га). Высокие дозы свежего навоза (50–60 т/га) вызывают сильный рост пера и задерживают вызревание луковиц, поэтому свежий навоз в больших дозах вносят под предшественник. Самые высокие урожаи лук дает, когда под него вносят средние дозы минеральных удобрений, а органические — под предшествующую культуру.

В первую половину вегетации лук использует больше азота, во время формирования луковиц — фосфора и калия. Избыточное азотное питание во второй половине вегетации задерживает созревание луковиц.

Для формирования 1 т урожая лука-репки требуется 3 кг N, 1,2 P₂O₅ и 4 кг K₂O. Луку для образования ароматических веществ необходима сера, поэтому используются серосодержащие удобрения (сульфат аммония, сульфат калия и др.).

Репчатый лук чаще выращивают из севка (мелкие луковицы 2–3 см в диаметре) и семян (чернушка).

На дерново-подзолистых почвах при средней обеспеченности подвижными фосфором и калием по последствию 40–60 т/га на-

воза или компоста при урожайности лука на репку в 20 т/га вносят по 90 кг/га азотных и калийных и 80 кг/га фосфорных удобрений; если планируется получить 30 т/га, дозу азота увеличивают до 120 кг/га. На пойменных почвах в первом случае вносят N₉₀P₆₀K₉₀, во втором — N₁₂₀P₈₀K₉₀. Система удобрения репчатого лука складывается из основного, припосевного удобрения и подкормки (табл. 9.33, 9.34). При посеве вносят гранулированный суперфосфат в небольших дозах — 10–20 кг/га P₂O₅. Подкормки проводят только в первой половине лета (иначе не вызревают луковицы): спустя месяц после посадки севком и 2–2,5 месяца при посеве семенами (20 кг/га азота и 30 — калия).

На луке можно применять некорневые подкормки комплексными водорастворимыми удобрениями Эколист стандарт (3л/га), Эколист РК-1 (9 л/га) и ЖКУ «Витококтейль» и другие. Фазы роста и развития для подкормок лука указаны в таблице 9.35.

9.8. Особенности удобрения торфяных почв

В Беларуси более 7 млн га заболоченных земель, из них 3 млн га составляют торфяно-болотные почвы.

Масштабная мелиорация заболоченных земель в республике началась в 1986 году и к 1990 году было осушено 3,3 млн га, в том числе 1,3 млн га торфяно-болотных почв, из которых 1 млн га занимают сельскохозяйственные угодья. К настоящему времени осушенные торфяные почвы занимают 900 тыс. га, на остальной части торфяных почв произошло разрушение органического вещества при их сельскохозяйственном использовании. Эти почвы перешли в группу антропогенно преобразованных — дегроторфяных почв.

Торфяно-болотные почвы имеют высокое потенциальное плодородие: содержание органического вещества составляет 80–90 %, а азота — до 5 %. Использование плодородия торфяно-болотных почв сдерживалось неблагоприятными их свойствами: избыточным увлажнением, высокой кислотностью, несбалансированностью основных элементов питания.

Основным фактором, регулирующим кислотность почвы является на освоенных торфяниках, является известкование. Торфяно-болотные почвы богаты азотом, содержание которого колеблется

от 3 до 5 %. В первые 2–3 года освоение осушенных торфяных почв разложение органического вещества происходит очень медленно в связи с малой численностью микроорганизмов и низкой их активностью.

В это период рекомендуется вносить полное минеральное удобрение (НРК). В последующие 15–20 лет использования в осушенных торфяниках активизируются процессы разложения органического вещества и происходит накопление минерального азота в количествах (300–400 кг/га) превышающих потребность растений. Для активизации питания растений необходимо применять фосфорные и калийные удобрения. В дальнейшем по мере срабатывания минерализация торфяного слоя происходит снижение минеральных форм азота и на старопахотных торфяных почвах уже требуется дополнительное внесение азота.

При разработке системы удобрения сельскохозяйственных культур на осушенных торфяных почвах необходимо учитывать их природные особенности, содержание органического вещества, степень окультуренности и мелиоративное состояние. Во вновь осваиваемых торфяных почвах на единицу азота приходится в 5–10 раз меньше фосфора и в 30–40 раз — калия, чем на минеральных почвах. При окультуривании торфяных почв содержание подвижных элементов питания меняется и зависит от свойств почвы, водного режима, интенсивности удобрения. Содержание питательных элементов может варьировать в значительных пределах (в том числе в границах полей севооборота): от 200 до 1200 мг и больше в 1 кг почвы.

Особенностью земледелия на торфяных почвах является использование азота из запасов почвы и интенсивное внесение калийных, фосфорных, а также микро— (медных и борных) удобрений. При правильном внесении удобрений (рациональные дозы, учитывающие соотношение элементов питания, оптимальные сроки, способы внесения) улучшается использование растениями питательных элементов из почвы. При возделывании культур на торфяных почвах большую роль играют водный режим, мощность слоя торфа и степень разложения органического вещества.

Рациональная система удобрения торфяных почв предусматривает оптимальные дозы, правильное соотношение элементов питания, сроки и способы внесения удобрений (табл. 9.3).

Интенсивное использование осушенных торфяных почв требует тщательной разработки и строгого соблюдения систем удобрения, обеспечивающих оптимальное питание растений, уменьшение потерь азота и органического вещества. Возделывание сельскохозяйственных культур на торфяных почвах без применения удобрений не окупает затрат на их осушение и мелиоративный уход. На этих почвах следует преимущественно возделывать многолетние травы и зерновые культуры.

В табл. 9.3 приведены дозы фосфорных и калийных удобрений на торфяно-болотных почвах. По данным Института почвоведения и агрохимии, оптимальное соотношение фосфора и калия для зерновых культур 1:1,5, для пропашных и многолетних трав — 1:2. Расчет конкретных доз удобрений проводится с учетом специфики усвоения фосфора и калия из почвы и удобрений. Из почвы используется 10–20 % фосфора и 30–50 — калия, из удобрений — соответственно 15–30 и 50–70 %. На торфяных почвах высокую эффективность имеют медные удобрения, так как медью бедны эти почвы. Под зерновые культуры лучшим способом применения медных удобрений являются некорневые подкормки в фазе кущения — начало выхода в трубку 50 г/га д. в. меди. Под другие культуры микроудобрения применяются при необходимости такие как на минеральных почвах.

Большая часть торфяных почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, занята многолетними травами в системе полевых севооборотов и луговыми землями. При благоприятном водном режиме главным условием, определяющим продуктивность трав, является наличие достаточного количества доступных для растений элементов питания. Расчет доз удобрений под многолетние травы проводится с учетом того, что внесение азотных удобрений является обязательным агроприемом при возделывании злаковых травостоев. При оптимальном фосфорном и калийном питании за счет азота формируется урожайность 65–79 ц/га сухого вещества. Окупаемость 1 кг азота составляет 20–28 кг сухого вещества. В год залужения азотные удобрения не вносят. В остальные годы они вносятся под каждый укос или стравливание. Первая весенняя подкормка осуществляется в начале активной вегетации трав, после внутрпочвенного стока влаги. Дозы азотных удобрений в зависимости от планируемой урожайности трав составляют от 30–40 до 50–60 кг д. в. азота (табл. 9.3).

При отрегулированном водном режиме, когда уровень грунтовых вод (УГВ) поднимается не выше 0,5 м от поверхности почвы, под зерновые ранних сроков сева полная подготовка почвы к посеву осуществляется осенью. Удобрения вносят в период предпосевной культивации и заделывают на глубину 12–15 см.

При разработке систем и доз удобрений для сельскохозяйственных культур, возделываемых на осушенных торфяных почвах, где наблюдается сработка торфяного слоя, высокая степень минерализации с понижением содержания органического вещества до 20 % и ниже, следует придерживаться доз удобрений для аналогичных культур, принятых на минеральных почвах.

9.9. Эффективность и энергосбережение при применении удобрений

Мероприятия по применению удобрений в сельском хозяйстве должны быть экономически выгодны и энергетически целесообразны.

Для оценки использования минеральных и органических удобрений сельскохозяйственными культурами определяют их агрономическую, экономическую и энергетическую эффективность.

Агрономическая эффективность удобрений — это количество сельскохозяйственной продукции, полученное от применения удобрений. Она выражается в виде прибавки урожая сельскохозяйственных культур в килограммах на 1 кг NPK или на 1 т органических удобрений и рассчитывается делением разности урожайности на удобренных и неудобренных участках на дозу внесенных удобрений. Для определения агрономической эффективности удобрений проводят полевые опыты. Однако в хозяйствах проводить такие опыты нецелесообразно из-за больших затрат. Поэтому для расчета агрономической эффективности удобрений в сельскохозяйственной практике используется нормативный метод, разработанный Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси на основании обобщения большого количества полевых опытов, проводившихся в различных почвенно-климатических зонах республики (И. М. Богдевич, Г. В. Василюк, Л. В. Круглов и др.).

Основными показателями агрономической эффективности применения минеральных и органических удобрений при использовании нормативного метода являются прибавка урожая, получаемая от удобрений, и фактическая окупаемость удобрений.

Очень важное значение имеет экономическая оценка применения удобрений. Однако цены на удобрения и сельскохозяйственную продукцию меняются в зависимости от рыночной конъюнктуры, поэтому их можно использовать только для краткосрочного планирования.

Основными показателями экономической эффективности применения удобрений являются прибыль (чистый доход) от их внесения и его производные — прибыль на один рубль производственных затрат, на единицу внесенных удобрений, рентабельность.

При определении прибыли удобрений исходят из сопоставления стоимости дополнительной продукции, полученной от применения удобрений, с затратами на их использование.

Прибавка урожая за счет минеральных и органических удобрений находится умножением внесенных доз этих удобрений на соответствующие величины фактической окупаемости. Нормативная окупаемость удобрений приведена в табл. 9.36.

Таблица 9.36. Средние нормативы цены балла пашни и окупаемости минеральных и органических удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур

Культура	Вид продукции	Цена балла, кг	Окупаемость, кг	
			1 кг NPK	1 т органических удобрений
Зерновые в целом	Зерно	44	6,2	20
Озимая рожь	То же	41	6,1	22
Озимая пшеница	»	48	7,8	23
Ячмень	»	44	6,5	14
Овес	»	46	6,0	—
Горох	»	26	3,6	—
Гречиха	»	17	2,3	—
Лен-долгунец	Волокно	12,8	2,0	—
Картофель	Клубни	250	20	75
Сахарная свекла	Корнеплоды	325	30	100
Кормовые корнеплоды	То же	500	65	200

Окончание табл. 9.36

Культура	Вид продукции	Цена балла, кг	Окупаемость, кг	
			1 кг NPK	1 т органических удобрений
Кукуруза	Зеленая масса	390	73	150
Многолетние травы (бобово-злаковые)	Сено	73	14	—
	Зеленая масса	365	70	—
Однолетние травы	То же	263	48	—
Кормовые культуры на пашне	Кормовые единицы	65	10,5	32
Все культуры на пашне	То же	60	8,8	30
Сенокосы и пастбища	Сено	70	14,3	—
	Зеленая масса	350	72	—

Для расчета экономической эффективности необходимо определить затраты, связанные с применением удобрений. Все прямые затраты на выращивание сельскохозяйственных культур определяются технологией и учитываются в себестоимости продукции. Дополнительные затраты на применение удобрений определяются по расходам на время расчета.

Затраты на получение прибавки урожая от минеральных и органических удобрений рассчитываются по формуле:

$$Z_o = Z_{м.уд} + Z_{о.уд} + Z_{вн.м.уд} + Z_{вн.о.уд} + Z_{уб} + Z_n,$$

где $Z_{м.уд}$ — расходы хозяйства на приобретение минеральных удобрений в ассортименте по ценам для сельского хозяйства (цена + наценка «Агросервиса»); $Z_{о.уд}$ — расходы хозяйства на производство и хранение органических удобрений; $Z_{вн.м.уд}$ — расходы на погрузку, разгрузку, доставку в хозяйство, хранение подготовку, перевозку в поле и внесение минеральных удобрений; $Z_{вн.о.уд}$ — расходы на погрузку, перевозку в поле и внесение органических удобрений; $Z_{уб}$ — расходы на уборку, перевозку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет удобрений; Z_n — общепроизводственные, общехозяйственные и другие расходы, отнесенные по действующей системе бухгалтерского учета на себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Наряду с ценами на минеральные удобрения учитываются также наценки объединения «Агросервиса» на доставку 1 т минеральных удобрений.

Затраты на разгрузку, погрузку, хранение, подготовку, перевозку в поле и внесение удобрений определяются по факти-

ческим затратам по хозяйству. Учитывая последствие органических удобрений, затраты на их применение под удобряемую культуру зерновых берут в размере 30 % к фактическим затратам по хозяйству; для картофеля, сахарной свеклы, кормовых культур, всех сельскохозяйственных культур, возделываемых на пашне — 60 %.

Затраты на удобрения, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет применения удобрений, следует рассчитывать на основании фактических затрат с учетом вида продукции.

Прибыль в расчете на гектар (Π) определяется по разности между стоимостью прибавки (C_{Π}) урожая за счет внесения удобрений и затратами (Z_o) на ее получение по формуле:

$$\Pi = C_{\Pi} - Z_o.$$

На основании чистого дохода можно рассчитать доход, полученный на 1 рубль затрат, связанных с применением органических и минеральных удобрений. Для этого прибыль делится на затраты для получения прибавки урожая от удобрений. При умножении полученной величины на 100 можно получить рентабельность (P) от применения удобрений, которая выражается в %,

$$P = \frac{\Pi}{Z_o} \cdot 100.$$

Прибыль на 1 кг NPK определяется делением соответствующей доли прибыли с гектара посева на дозу внесения минеральных удобрений (NPK), прибыль на 1 т органических удобрений — делением оставшейся доли чистого дохода с гектара посева на дозу внесенных органических удобрений.

Прибыль на 1 га посевов рассчитывается как разность между стоимостью прибавки урожая, полученной за счет удобрений, и стоимостью затрат, сделанных, чтобы получать эту прибавку. Для определения прибыли на 1 руб. затрат, связанных с применением удобрений, прибыль делят на стоимость затрат, произведенных для получения прибавки урожая от удобрений. Умножив результат на 100, получают рентабельность применения удобрений (в процентах).

Прибыль на 1 кг минеральных удобрений определяется делением величины прибыли в расчете 1 га посевов на дозу удобрений (кг/га NPK).

Расчеты энергетической эффективности дают более объективное и долгосрочное представление об эффективности удобрений, чем экономическая оценка эффективности удобрений. Это связано с тем, что стоимостные показатели ценности меняются в зависимости от рыночной конъюнктуры, поэтому их можно использовать только для краткосрочного планирования. Суть энергетического анализа состоит в том, что все количественные показатели — фактическая прибавка урожая сельскохозяйственных культур от удобрений и затраты на применение удобрений — выражаются в энергетическом эквиваленте — джоулях. Джоуль (Дж) — это единица энергии, работы и количества теплоты в Международной системе единиц, 1 Дж = 0,2388 кал. Более крупные единицы измерения энергии: 1 килоджоуль (КДж) = 10^3 джоулей, 1 гигаджоуль (ГДж) = 10^9 джоулей.

Основными показателями энергетической эффективности применения удобрений являются коэффициент энергетической эффективности и удельные энергетические затраты. Энергетический коэффициент (энергоотдача) — это отношение энергии, содержащейся в прибавке урожая от удобрений, к количеству энергии, затраченной на их применение. Его расчет производится по следующей формуле:

$$q = \frac{\Theta_n}{\Theta_0},$$

где q — коэффициент энергетической эффективности; Θ_n — количество энергии, полученной в прибавке основной продукции от удобрений, МДж; Θ_0 — общие энергетические затраты на производство, доставку, хранение, подготовку, транспортировку и внесение минеральных и органических удобрений, уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений, МДж.

Коэффициент энергетической эффективности больше единицы указывает на то, что удобрения используются эффективно. Для расчета энергетической эффективности применения удобрений в Беларуси используется методика, разработанная в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (Г. В. Василюк, И. М. Богдевич и др.).

Накапливаемая в основной продукции растениеводства энергия оценивается в джоулях. Содержание энергии в основной продукции растениеводства рассчитывается по формуле

$$\Theta_n = П \cdot К \cdot 100,$$

где Θ_n — содержание энергии в основной продукции растениеводства, МДж/га; П — прибавка урожая от удобрений, ц/га; К — количество энергии в 1 кг основной продукции в натуре (табл. 9.37), МДж; 100 — коэффициент пересчета центнеров в килограммы.

Таблица 9.37. Содержание энергии в растениеводческой продукции

Культура	Продукция	% влаги в продукции	Содержание энергии, МДж	
			в 1 кг сухого вещества	в 1 кг продукции натуральной влажности
1	2	3	4	5
Пшеница озимая	Зерно	14	19,13	16,45
	Солома	22,5	18,59	14,40
Рожь озимая	Зерно	14	19,49	16,76
	Солома	22,5	18,48	14,32
Ячмень	Зерно	14	19,13	16,45
	Солома	22,5	17,75	13,76
Овес	Зерно	14	18,80	16,17
	Солома	22,5	18,34	14,21
Люпин	Зерно	14	20,98	18,04
	Солома	15	18,64	15,84
Горох	Зерно	14	19,03	16,37
	Солома	22,5	16,38	12,69
Вика	Зерно	14	19,00	16,34
	Солома	22,5	17,53	13,59
Гречиха	Зерно	14	19,38	16,67
Лен-долгунец	Волокно	11	20,24	18,01
	Семена	12	24,17	21,27
Картофель	Клубни	78	17,29	3,80
Овощи		90	16,36	1,64
Сахарная свекла	Корни	75	17,56	4,39
	Ботва	90	16,00	1,60
Кормовые корнеплоды	Корнеплоды	88	17,38	2,09
	Ботва	90	16,23	1,62

Окончание табл. 9.37

1	2	3	4	5
Кукуруза	Зеленая масса	80	18,69	3,74
Многолетние травы	Зеленая масса	80	18,33	3,67
	Сено	16	18,40	15,46
Однолетние травы	Зеленая масса	85	18,40	2,76
	Сено	16	18,45	15,50
Лугопастбищные травы	Зеленая масса	83	18,33	3,12

Энергозатраты на минеральные удобрения под культуры, связанные с их производством, рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_y = (D_N \cdot \mathcal{E}_N) + (D_P \cdot \mathcal{E}_P) + (D_K \cdot \mathcal{E}_K) \text{ МДж/га,}$$

где D_N, D_P, D_K — фактическая доза внесения соответственно азотных, фосфорных и калийных удобрений по д. в. кг/га; $\mathcal{E}_N, \mathcal{E}_P, \mathcal{E}_K$ — энергетические затраты на 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений (табл. 9.38), МДж/га.

Таблица 9.38. Энергозатраты на производство минеральных удобрений

Виды и формы удобрений	Содержание действующего вещества, %	Энергетический эквивалент, МДж/кг	
		действующее вещество	физическая масса
1	2	3	4
Азотные			
Аммиачная селитра	34,5	80	27,6
Карбамид	46,2	80	36,8
Сульфат аммония	20,5	80	16,4
КАС	28,0	80	22,4
Азот в сложных удобрениях		152,7	
Фосфорные			
Суперфосфат простой	18,7	13,8	2,6
Суперфосфат двойной	46,0	13,8	6,3
Фосфор в сложных удобрениях		27,3	
Калийные			
Хлористый калий	60,0	8,8	5,3
Калийная соль	40,0	8,8	3,5
Сульфат калия	48,0	8,8	4,2
Калий в сложных удобрениях		29,4	

Окончание табл. 9.38

1	2	3	4
Сложные удобрения			
Нитрофоска (12:12:12)	36,0	51,5	18,5
Аммофос (12:50:0)	62,0	51,5	31,9
Аммофосфатка (5:25:30)	60,0	51,5	30,9
Минеральные удобрения в целом (соотношение NPK 1,0:0,48:1,18)	46,8	43,8	20,5

Затраты, связанные с подготовкой, погрузкой, транспортировкой и внесением минеральных удобрений:

$$\mathcal{E}_B = 171,4 + (8,0974D) + (1,2954P) + (2,804DP) - (0,1553 \cdot P^2),$$

где \mathcal{E}_B — общие энергозатраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение удобрений, МДж/га; D — доза удобрений в физической массе, ц; P — расстояние перевозки удобрений от склада хозяйства до поля, км.

Затраты на доставку удобрений от прирельсовой базы в хозяйство в среднем в Республике Беларусь составляют 22 МДж на 1 т/км, на хранение в складах хозяйства 38,8 МДж/т. Средние энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 ц минеральных удобрений в зависимости от дальности перевозки приведены в табл. 9.39.

Таблица 9.39. Средние энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 ц минеральных удобрений в зависимости от дальности перевозки, МДж

Транспортировка от прирельсового склада до хозяйственного, км	Транспортировка от хозяйственного склада до поля, км							
	прямоточная технология				перегрузочная технология			
	1	3	5	7	9	5	10	15
0	53,4	59,9	69,3	83,9	126,9	60,9	70,0	82,7
10	65,1	71,6	81,5	96,0	139,0	73,1	82,1	94,8
20	83,4	89,9	98,7	113,2	156,2	90,3	99,8	112,0
40	118,1	124,6	134,1	147,9	191,6	125,9	134,7	147,4

Энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений — в табл. 9.40. Общие затраты энергии при применении удобрений складываются из энергозатрат на производство удобрений, их транспортировку, погрузку и внесение, а также на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая.

Таблица 9.40. Нормативы энергозатрат на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения удобрений

Культура	Продукция	Урожайность, ц/га	Энергозатраты, МДж/ц
Озимая рожь	Зерно	30–40	328
Ячмень	То же	45–55	287
Картофель	Клубни	150–250	79
Сахарная свекла	Корни	250–350	67
Кормовые корнеплоды	То же	600–800	40
Кукуруза	Зеленая масса	300–400	35
Многолетние травы	Сено	30–50	105

Формирование эффективного, конкурентоспособного агропромышленного производства требует совершенствования систем земледелия на основе разработки и активного внедрения эффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий производства растениеводческой продукции.

Ресурсосберегающая система применения удобрений должна обеспечивать сбалансированное питание по всем химическим элементам сельскохозяйственных культур, высокую отдачу в виде прибавки урожайности, поддержание достигнутого уровня содержания подвижных форм фосфора и калия на почвах с оптимальным их содержанием и хотя бы минимальное увеличение с недостаточным. На почвах окультуренных с оптимальным содержанием гумуса, подвижных форм фосфора, калия, отрегулированной реакцией почвенной среды для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур требуется меньше затрат удобрений, что позволяет перейти на принципиально новую ресурсосберегающую систему их применения.

Ресурсосберегающему применению удобрений способствует совершенствованию технологии (способов) внесения. Использование локального допосевного и припосевного удобрения позволяет в среднем на 30 % сократить дозы, а вместе с тем и затраты на удобрения. Во многих странах мира совершенствование способов внесения удобрений идет по пути локализации их в почву.

Разработанные в последнее время комплексные удобрения для некорневых подкормок, в состав которых входит азот, фосфор, калий, сера, магний, микроэлементы оказывают нередко такой же эффект, как и внесение в почву большей дозы удобрений.

Разработка и применение новых форм минеральных удобрений содействует ресурсосбережению. Медленнодействующие азотные удобрения (мочевина с регулятором роста растений гуминовой природы, сульфат аммония с защитным покрытием и другие) обеспечивают снижение потерь азота при вымывании на 27–35 %, газообразных потерь азота — на 10–15 %, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур на 10–28 %, улучшение качества продукции за счет снижения нитратов — на 15–30 %.

Применение новых форм комплексных удобрений, специализированных для конкретных сельскохозяйственных культур с оптимальным для них содержанием макро- и микроэлементов позволяет почти в 2 раза снизить энергетические и трудовые затраты по сравнению с однокомпонентными на внесение.

Ресурсосберегающим приемом является совмещение внесения в некорневую подкормку с другими технологическими приемами (внесением пестицидов, регуляторов роста растений), что позволяет уменьшить дозу пестицидов на 30 % при совместном внесении с азотными удобрениями (5–10 кг/га д. в.).

Важное значение имеет также замена существующей марки машин для внесения минеральных и органических удобрений на новые высокопроизводительные, соответствующие современным требованиям по точности дозирования и равномерности внесения. С точки зрения ресурсо- и энергосбережения органические удобрения для пополнения запасов гумуса в почве следует использовать на полях, расположенных вблизи мест их заготовки, на удаленных полях регулировать баланс гумуса в почве следует за счет использования соломы, сидератов, промежуточных посевов и многолетних трав.

Ресурсосбережение и экологическая целесообразность предусматривает широкое использование азотфиксирующих и фосфотмобилизирующих биопрепаратов для бобовых (сапронит и другие), небобовых культур (ризобактерин, фитостимифос и другие).

Ресурсосберегающая система удобрения является составной частью современной интегрированной (адаптивной) системы земледелия и более эффективно позволяет использовать имеющиеся ресурсы органических и минеральных удобрений.

Глава 10

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

Радиоактивному загрязнению цезием-137 в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС подверглось более 1,8 млн га сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Из них 265 тыс. га (около 15 %) были выведены из хозяйственного оборота в 1986 году. По данным первого тура радиологического обследования, проведенного в 1992 году, площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137 свыше 1 Ки/км², составила 1,438 млн га. За 1992–2020 годы площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137, сократилась на 589,9 тыс. га. При этом с 1993 года в хозяйственное пользование возвращено более 19 тыс. га земель, выведенных из оборота после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

На 1 января 2020 г. площадь территории радиоактивного загрязнения Беларуси цезием-137 вследствие его радиоактивного распада уменьшилась в 1,7 раза, стронцием-90 — почти в 1,9 раза и составляет соответственно 13,4 и 5,3 % общей площади республики.

В настоящее время площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137 сократилась более чем на 570 тыс. га. и составляет 864,4 тыс. га или 11,7 % от всех сельскохозяйственных земель республики (табл. 10.1), стронцием-90 составляет 288,2 тыс. га или 3,9 % (табл. 10.2).

Радиоактивное загрязнение после Чернобыльской катастрофы распространилось на все области Беларуси, но наиболее пострадали Гомельская и Могилевская области.

Таблица 10.1. Распределение сельскохозяйственных земель Беларуси по плотности загрязнения цезием-137 (по данным Минсельхозпрода Республики Беларусь на 1 января 2019 г.)

Область	Загрязнено, тыс. га				
	Всего	Плотность загрязнения, Ки/км ²			
		1,0–5,0	5,1–15,0	15,1–40,0	Более 40,0
Брестская	41,6	40,7	0,9	—	—
Витебская	0,2	0,2	—	—	—
Гомельская	513,4	392,0	106,7	14,6	0,1
Гродненская	16,8	16,8	—	—	—
Минская	43,2	43,0	0,2	—	—
Могилевская	249,2	203,6	42,2	3,3	—
Всего	864,4	696,4	150,0	17,9	0,1

Таблица 10.2. Распределение сельскохозяйственных земель Беларуси по плотности загрязнения стронцием-90 (по данным Минсельхозпрода Республики Беларусь на 1 января 2019 г.)

Область	Загрязнено, тыс. га				
	Всего	Плотность загрязнения, Ки/км ²			
		0,15–0,30	0,31–1,00	1,01–3,00	Более 3,00
Брестская	0,5	0,5	—	—	—
Гомельская	277,4	162,3	101,0	14,1	—
Могилевская	10,3	10,3	—	—	—
Всего	288,2	173,1	101,0	14,1	—

В настоящее время наибольшую опасность представляют стронций-90 и цезий-137. Радиоактивные изотопы стронция и цезия являются химическими аналогами кальция и калия. Стронций и цезий отличаются высокой биологической подвижностью и легко поступают в растения. Наблюдается прямая зависимость между их содержанием в почве и поступлением в растения. У стронция период полураспада 28, у цезия — 30 лет.

Преобладающая часть радионуклидов сосредоточена в зоне расположения основной массы корней сельскохозяйственных культур. Миграция цезия-137 и стронция-90 вглубь почвы происходит очень медленно. Наибольший переход радионуклидов из почвы в растения отмечается на минеральных песчаных и торфяно-болотных почвах в естественных условиях, наименьший — на окультуренных землях.

Необходимость ведения сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения является одним из наиболее тяжелых последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Система использования загрязненных радионуклидами земель должна обеспечивать не только минимальное накопление радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, исключение производства продукции и продуктов питания, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов, но также окупаемость произведенной продукции.

10.1. Поведение радионуклидов в почвах и поступление их в растения

Загрязнение растениеводческой продукции радионуклидами зависит от свойств почв, которые обуславливают поглощение и закрепление радионуклидов в почве: гранулометрического и минералогического состава, величины емкости поглощения, состава обменных катионов, кислотности, содержания органического вещества и других.

С утяжелением гранулометрического состава почв от легких к тяжелым снижается поступление радионуклидов в растения. Это обусловлено тем, что мелкие фракции почв обладают высокой емкостью поглощения вследствие большой удельной поверхности, изменением состава обменных катионов и содержания органического вещества. На дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве радионуклидов в растения поступает в 2–3 раза меньше, чем на дерново-подзолистой среднесуглинистой, и примерно на порядок меньше, чем на супесчаной почве. При переходе от песчаных почв к суглинистым накопление цезия-137 в растениях снижается у многолетних злаковых трав в 1,4 раза, зернобобовых — в 2 и в 3 раза у озимой ржи, ячменя, овса.

С увеличением емкости поглощения и содержания обменного кальция доступность стронция-90 растениям снижается. Поступление цезия-137 определяется количеством обменного калия в почве. На почвах с низкой суммой обменных оснований и небольшим количеством обменного калия цезий-137 поглощается растениями

интенсивнее. Поступление радионуклидов в растения из почвы с увеличением содержания гумуса от 1,0–1,5 до 2,1–3,0 % снижается в 1,5–2,0 раза, в 2 раза оно может меняться в зависимости от содержания в почве обменного кальция и уровня кислотности, до 3 раз — в зависимости от содержания подвижного калия.

На кислых почвах радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем на слабокислых, нейтральных или слабощелочных. Из кислых почв цезия-137 поступает в растения в 2–3 раза больше, чем из почв с нейтральной и слабощелочной реакцией.

На поступление радионуклидов в растения существенно влияют формы их соединений в почве. Различают четыре такие формы: водорастворимая, обменная (растворимая в лабораторных условиях ацетатом аммония), подвижная (растворимая слабым раствором соляной кислоты), неподвижная (связанная или фиксированная). Если радионуклиды находятся в одной из первых трех указанных форм, то возможен их переход в растения. Относительное количество радионуклидов в доступных для растений формах изменяется с течением времени, оно во многом определяется типом почвы и различно для цезия и стронция.

За послеаварийный период доля доступных для растений форм цезия-137 значительно уменьшилась по сравнению с 1986 годом и не превышает 5 % в дерново-подзолистых суглинистых почвах. В дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах доля доступных растениям форм находится в пределах 10–20 %. Приблизительно столько же содержится доступных форм его в торфяно-болотных почвах. Удельный вес доступного стронция-90, наоборот, возрос и достигает 70 % в дерново-подзолистых почвах и 50 % — в торфяно-болотных почвах.

Полнота поглощения и прочность закрепления радионуклидов в значительной мере зависят от минералогического состава почв. Минералы монтмориллонитовой группы более полно поглощают и закрепляют радионуклиды, особенно цезий-137, чем слюды и гидрослюды. Большее закрепление цезия-137 почвами по сравнению со стронцием-90 обусловлено тем, что он прочно поглощается минеральными высокодисперсными фракциями, содержащими минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд.

Миграция радионуклидов вглубь по профилю в почвах протекает медленно. Средняя скорость такой миграции составляет 0,3–0,5 см/год, поэтому угрозы водоносным горизонтам практически нет. Скорость миграции стронция-90 несколько выше, чем для цезия-137. Темпы миграции увеличиваются с возрастанием степени увлажнения почв.

Глубина проникновения радионуклидов зависит от гранулометрического состава почвы. Заметная миграция цезия-137 и стронция-90 (до 10 см) отмечена на легких по гранулометрическому составу почвах, подстилаемых песками, имеющих малую емкость поглощения и высокую водопроницаемость. В настоящее время преобладающая часть радионуклидов, выпавших на почву, находится в верхних ее слоях. На необрабатываемых землях основное количество цезия-137 (70–85 % от его валового содержания), а также стронция-90 (58–61 %) сконцентрировано в верхней части 0–5 см корнеобитаемого слоя. В обрабатываемых дерново-подзолистых супесчаных почвах около 90 % валового запаса цезия-137 и 75 % стронция-90 находится в пахотном горизонте 0–25 см. Наибольший переход радионуклидов из почвы в растения отмечается на минеральных и торфяно-болотных почвах в естественных условиях, наименьший — на окультуренных землях. Таким образом, основная доля цезия-137 и стронция-90 расположена в корнеобитаемом слое и интенсивно включается в биологический круговорот.

Поведение стронция-90 и цезия-137 в системе «почва — растение» различно. Стронция-90 поступает в растения из почвы в большинстве случаев примерно в 10 раз больше, чем цезия-137. Только на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных почвах растения усваивают цезия-137 больше, чем стронция-90.

Различия в минеральном питании, продолжительности вегетационного периода, другие биологические, видовые и сортовые особенности сельскохозяйственных культур существенно влияют на накопление радионуклидов в растениеводческой продукции. У разных растений при одинаковом уровне загрязнения почв степень загрязнения может различаться в 20–30 раз, сортов — в 1,5–3,0 раза. Культуры с невысоким содержанием кальция и калия меньше накапливают цезий-137 и стронций-90. Бобовые культуры

содержат кальция на единицу сухого вещества в среднем в 4 раза больше, чем зерновые, что определяет высокие размеры выноса его химического аналога стронция-90.

Подбор культур в зависимости от величины перехода радионуклидов в урожай является эффективным и широко доступным приемом получения растениеводческой продукции в пределах республиканских допустимых уровней.

По величине накопления радионуклидов на единицу сухого вещества при одинаковой плотности загрязнения почв сельскохозяйственные культуры ранжированы в порядке убывания содержания радионуклидов в продукции. Убывающий ряд культур по накоплению цезия-137:

в зерне: люпин > горох > вика > рапс > овес > просо > ячмень > пшеница > озимая рожь;

в соломе: овес > ячмень > яровая пшеница > озимая пшеница > озимая рожь;

в зеленой массе, клубнеплодах, клубнях: многолетние злаковые травы > люпин > рапс > многолетние бобово-злаковые смеси > клевер > горох > горохо-овсяная смесь > вико-овсяная смесь > кукуруза > картофель > кормовая свекла;

в сене многолетних злаковых трав: костер безостый > тимopheвка > мятлик луговой > ежа сборная > овсяница > райграс пастбищный;

в естественных ценозах: осоковые > осоково-злаковые > злаковые.

Убывающий ряд культур по накоплению стронция-90:

в зерне: яровой рапс > люпин > горох > вика > ячмень > яровая пшеница > овес > озимая пшеница > озимая рожь;

в соломе: ячмень > яровая пшеница > озимая пшеница > овес > озимая рожь;

в зеленой массе, клубнеплодах и клубнях: клевер > люпин > горох > многолетние злаковые травы на пойменных землях > многолетние злаково-бобовые смеси > вика > рапс яровой > горохо-овсяные смеси > вико-овсяные смеси > травы естественных сенокосов > кукуруза > кормовая свекла > картофель;

в травах: разнотравье > осоки > мятлик луговой > ежа сборная.

В товарной части урожая в расчете на сухую массу больше всего содержат стронция-90 корнеплоды (свекла, морковь), несколько

меньше — бобовые культуры (горох, вика), затем картофель и меньше всего зерновые злаковые культуры. Причем озимые зерновые накапливают в 2,0–2,5 раза меньше радионуклидов, чем яровые зерновые культуры, а позднеспелые сорта в 1,5–2,0 раза меньше, чем раннеспелые, сорта ярового рапса по накоплению цезия-137 различаются в 2–3 раза, стронция-90 — до 4 раз, что необходимо учитывать в сельскохозяйственном производстве на загрязненных землях.

По степени накопления цезия-137 и стронция-90 овощные культуры располагаются в следующем порядке (по возрастающей): капуста, огурцы, томаты, лук, чеснок, салат, картофель, морковь, свекла столовая, редис, горох, боб, щавель. Из плодово-ягодных культур подвержены в большей степени загрязнению радионуклидами красная и черная смородина, в меньшей — земляника садовая, яблоня, груша.

Для планирования мероприятий по уменьшению поступления цезия-137 и стронция-90 в организм человека и сельскохозяйственных животных используется прогноз радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции на загрязненных радионуклидами землях. По результатам обследования почв используется информация по плотности загрязнения цезием-137 и стронцием-90 и агрохимическим показателям почв по каждому элементарному участку.

Для прогноза содержания радионуклидов в растениеводческой продукции и оценки ее в сопоставлении с «Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах» (табл. 10.3) необходимо располагать следующими данными:

- коэффициенты перехода (пропорциональности) — K_p цезия-137 и стронция-90 (отношение удельной активности радионуклида в растительном образце к плотности загрязнения почв);
- вид продукции;
- результаты почвенного, агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель хозяйства, представленные в агрохимических паспортах хозяйств и на картограммах областных проектно-изыскательских станций химизации:
 - тип почвы;
 - плотность загрязнения почвы цезием-137 и стронцием-90;

- содержание подвижных форм калия (K_2O), мг/кг;
- кислотность почвы (pH_{KCl}).

Таблица 10.3. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах (для переработки на пищевые цели допускается прием на перерабатывающие предприятия)

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	Цезий-137	Стронций-90
Молоко для переработки на:		
сливочное масло	370	18
цельномолочные продукты	100	3,7
молоко сухое и концентрированное	30	3,7
Мясо:		
говядина, баранина	500	Не нормируется
свинина, птица	180	Не нормируется
Растительное сырье:		
овощи	100	Не нормируется
фрукты	40	Не нормируется
садовые ягоды	70	Не нормируется
зерно	90	11
зерно на детское питание	55	3,7
Прочее сырье	370	Не нормируется

Расчет уровня загрязнения продукции производится по формуле:

$$УА = K_p \cdot П \cdot 37,$$

где $УА$ — удельная активность основной или побочной продукции, Бк/кг; K_p — коэффициент перехода (Бк/кг : кБк/м²) цезия-137 в зависимости от обеспеченности почв калием или стронция-90 — от реакции почвы; $П$ — плотность загрязнения почв, Ки/км².

Вся растениеводческая и животноводческая продукция, произведенная на загрязненных радионуклидами землях и используемая для продовольственных целей, переработки и реализации на внутреннем и внешнем рынках, должна соответствовать требованиям нормативов, установленным техническими регламентами и международными договорами.

Принятые в Республике Беларусь допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в основных видах кормов предусмотрены для получения различных видов конечной продукции (табл. 10.4).

Таблица 10.4. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в различных видах кормов для получения различных видов конечной продукции

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	Цезий-137			Стронций-90	
	Молоко цельное	Молоко-сырье для переработки на масло	Мясо, заключительный откорм	Молоко цельное	Молоко-сырье для переработки на масло
1	2	3	4	5	6
Сено	1300	1850	1300	260	1300
Солома	330	900	700	185	900
Сенаж	500	900	500	100	500
Силос	240	600	240	50	250
Корнеплоды	160	600	300	37	185
Зерно на фураж, комбикорм	150	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда, костная мука	900	—	—	—	—
Мезга, молочные продукты (обрат)	600	—	—	—	—
Прочие виды кормов	900	—	—	—	—

Технологии возделывания сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами землях должны обеспечивать производство продукции с содержанием радионуклидов, соответствующим санитарно-гигиеническим нормативам, повышение почвенного плодородия и получение высоких урожаев.

10.2. Приемы снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию

Получение продукции с содержанием радионуклидов в пределах допустимых уровней — главная задача ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных землях. Институтами Национальной академии наук Беларуси разработан комплекс за-

щитных мероприятий, который проводят сельскохозяйственные предприятия на загрязненных землях для обеспечения производства нормативно чистой продукции.

К *организационным контрмерам* относят:

обследование и инвентаризацию земель по плотности радиоактивного загрязнения и их картирование;

прогноз содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции;

исключение земель из сельскохозяйственного пользования;

оптимизация землепользования, структуры посевов и севооборотов на основе подбора сельскохозяйственных культур;

организация радиационного контроля продукции;

оценка эффективности защитных мероприятий и другие.

К *агротехническим приемам*, уменьшающим поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, относятся:

коренное и поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ;

гидромелиорация (осушение и оптимизация водного режима);

противоэрозионные мероприятия, предотвращающие вторичное загрязнение радионуклидами.

Агрохимические мероприятия, обеспечивающие оптимизацию физико-химического режима почв, включают:

известкование кислых почв;

применение органических удобрений;

внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений;

оптимизацию азотного питания растений;

применение микроудобрений;

использование средств защиты растений.

Установлено, что эффективность агрохимических мер в уменьшении поступления цезия-137 и стронция-90 не снижается с течением времени и зависит от соответствия агрохимических свойств почв их оптимальным параметрам.

Известкование кислых почв. Внесение известковых мелиорантов является эффективным способом снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. После внесения известковых удобрений в дозах, эквивалентных гидrolитической кислотности, содержание стронция-90 и цезия-137 в растениях снижалось примерно в 1,5–2,5 раза, в отдельных случаях в 3 раза. Минимальное накопление радионуклидов в продукции растениеводства чаще на-

блюдается при оптимальных показателях кислотности почв (pH_{KCl}) (табл. 10.5).

Таблица 10.5. Оптимальные интервалы степени кислотности pH_{KCl} для возделывания сельскохозяйственных культур

Почвы	В среднем	В том числе по типам севооборотов		
		со льном, картофелем, люпином, овсом, озимой рожью	Зерноотравно-пропашные с кукурузой, корнеплодами	зерносвекловичные, прифермские (клевер, люцерна), овощекормовые
Дерново-подзолистые:				
песчаные	5,3–5,8	5,3–5,5	5,5–5,8	5,5–5,8
супесчаные	5,5–6,2	5,5–5,8	5,6–6,0	5,8–6,2
суглинистые	5,5–6,7	5,5–6,0	6,1–6,5	6,5–6,7
Торфяно-болотные	5,0–5,3	–	–	–
Минеральные почвы сенокосов и пастбищ	5,8–6,2	–	–	–

Дозы известковых удобрений в действующем веществе устанавливаются на основании гранулометрического состава почв, исходной степени кислотности pH_{KCl} , содержания гумуса в почвах, плотности загрязнения территорий радионуклидами. Для известкования кислых почв пахотных земель применяются средние дозы известковых мелиорантов согласно табл. 10.6, загрязненных радионуклидами — согласно табл. 10.7, сенокосов и пастбищ — согласно табл. 10.8.

К загрязненным радионуклидами почвам, на которых требуется дополнительное внесение известковых удобрений, относятся почвы с уровнем загрязнения 1–40 Ки/км² по цезию-137 и 0,15–3,00 Ки/км² по стронцию-90.

Для первого уровня загрязнения (1,0–4,9 Ки/км² по цезию-137 и 0,15–0,29 Ки/км² по стронцию-90) дозы известковых удобрений увеличиваются только на торфяных почвах и дополнительно известкуются рыхлосупесчаные почвы с pH_{KCl} 5,51–5,75, связносупесчаные почвы с pH_{KCl} 5,51–6,00.

Для второго уровня загрязнения (5,0–40,0 Ки/км² по цезию-137 и 0,30–3,00 Ки/км² по стронцию-90) дозы устанавливаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один прием.

Таблица 10.6. Средние дозы известковых удобрений для известкования кислых почв пахотных земель, т/га CaCO₃

Группы почв	Содержание гумуса, %	pH_{KCl}									
		4,25 и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00	9	10
Минеральные											
Песчаные	Менее 1,50	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–	–	–	–
	1,51–3,00	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–	–	–	–
	Более 3,00	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–	–	–
Рыхло-супесчаные	Менее 1,50	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5**	–	–	–
	1,51–3,00	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0**	–	–	–
	Более 3,00	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5*	–	–	–
Связно-супесчаные	2,0 и менее	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5**	3,0**	–	–
	Более 2,00	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0**	3,5**	–	–
Легко- и среднесуглинистые	2,0 и менее	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	4,5	3,5	–
	Более 2,00	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	5,0	4,0	–
Тяжело-суглинистые и глинистые	Любое	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	6,0	5,0	–
	Любое	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	6,0	5,0	–
Торфяные											
Торфяные	–	8,0	6,5	5,0	3,0	–	–	–	–	–	–
	–	12,0* (13,0 19,0)**	10,0**	7,5**	5,0**	–	–	–	–	–	–

* Для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

** Для почв с уровнем загрязнения 1,0–4,9 Ки/км² по цезию-137 или 0,15–0,29 Ки/км² по стронцию-90.

Таблица 10.7. Средние дозы известковых удобрений для известкования кислых почв пахотных земель, загрязненных радионуклидами, т/га CaCO₃

Группы почв	Содержание гумуса, %	pH _{KCl}							
		4,25 и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Минеральные									
Песчаные	Менее 1,50	8,0	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	–	–
	1,51–3,00	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	–	–
	Более 3,00	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–
Рыхло-супесчаные	Менее 1,50	10,0	9,0	8,5	7,0	5,5	5,0	3,0	–
	1,51–3,00	10,5	9,5	9,0	8,0	6,5	6,0	3,5	–
	Более 3,00	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–
Связно-супесчаные	2,0 и менее	12,0	10,5	10,0	9,0	8,0	6,5	5,0	4,0
	Более 2,00	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5
Легко- и среднесуглинистые	2,0 и менее	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	9,5	7,0	6,0
	Более 2,00	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0
Торфяные									
Торфяные	–	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–

* Для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

Таблица 10.8. Средние дозы известковых удобрений для известкования кислых почв сенокосов и пастбищ, загрязненных радионуклидами, т/га CaCO₃

Группы почв	pH _{KCl}							
	4,25 и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Плотность загрязнения цезием-137 — 1,0–4,9, стронцием-90 — 0,15–0,29 Ки/км ²								
Песчаные	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлосупесчаные	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–
Связносупесчаные	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0	3,5
Суглинистые и глинистые	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–

Окончание табл. 10.8

Группы почв	pH _{KCl}							
	4,25 и ниже	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Плотность загрязнения цезием-137 — 5,0–40,0, стронцием-90 — 0,30–3,00 Ки/км ²								
Песчаные	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–
Рыхлосупесчаные	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–
Связносупесчаные	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5
Суглинистые и глинистые	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–

* Для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

Первоочередному известкованию подлежат почвы I–II групп кислотности в связи с высоким переходом радионуклидов из почвы в растения.

Органические удобрения. Систематическое применение органических удобрений приводит к существенному улучшению агрохимических свойств почв, повышению содержания гумуса, стабилизации высокой урожайности и качества растениеводческой продукции, уменьшению перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры. Органические удобрения снижают поступление радионуклидов в растения в 1,5–2,5 раза, в наибольшей степени на легких по гранулометрическому составу почвах. Обеспеченность почв гумусом является одним из параметров почвенного плодородия, определяющим накопление радионуклидов в растениях. Это связано со снижением биологической доступности радионуклидов за счет их включения в органико-минеральные комплексы в почве, а также с повышением обеспеченности почв элементами питания, увеличением урожайности культур или «биологическим» разбавлением концентрации радионуклидов.

Анализ экспериментальных данных, полученных в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси свидетельствует, что с повышением содержания гумуса в почвах с 1,0 до 3,5 % накопление цезия-137 и стронция-90 в растениеводческой продукции снижается в 1,5–3,5 раза.

Органические удобрения на загрязненных радионуклидами почвах можно применять без ограничений в соответствии с технологиями. Необходимо использовать все имеющиеся источники обогащения почв органическим веществом — навоз, компосты, солому, зеленые удобрения, а при небольшом радиусе перевозок — торф и нейтрализованный лигнин (отход гидролизных заводов).

Под сельскохозяйственные культуры рекомендуется применять те же дозы органических удобрений, что и на не загрязненных радионуклидами землях.

Наибольший эффект от органических удобрений можно получить при комплексном применении в сочетании с минеральными удобрениями и известковыми мелиорантами.

Важно отметить, что внесение подстилочного навоза, произведенного на радиоактивно загрязненной территории, не приводит к заметному увеличению накопления радионуклидов в почве.

Азотные удобрения. На почвах, загрязненных радионуклидами, важная роль отводится регулированию азотного питания растений. Недостаток доступного азота в почве приводит к снижению урожайности основной и побочной продукции, а повышенные дозы азотных удобрений усиливают накопление радионуклидов в растениях. Расчет доз азотных удобрений при возделывании культур на радиоактивно загрязненных почвах должен быть основан на сбалансированности всех элементов питания, с учетом действия и последствия органических удобрений.

Максимально допустимые дозы азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры приведены в табл. 5.6.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что избыточное азотное питание растений повышает в 1,2–1,3 раза поступление радионуклидов в растения по сравнению с оптимальной дозой азота.

Расчет доз азотных удобрений проводится исходя из потребности в азоте для формирования планируемого урожая. При подкормке озимых и яровых зерновых культур азотными удобрениями рекомендуется проводить комплексную почвенно-растительную диагностику.

Важным звеном оптимизации азотного питания растений является применение новых медленнодействующих форм азотных

удобрений с добавками различных биологически активных компонентов. Применение медленнодействующих азотных удобрений позволяет повысить на 20–40 % их окупаемость прибавкой урожая при одновременном снижении содержания радионуклидов на 15–30 %. При этом также снижается накопление нитратов в картофеле, овощах и кормовых культурах.

Карбамид медленнодействующий с гуматсодержащими добавками рекомендуется применять на почвах разного гранулометрического состава, но в первую очередь на рыхлых почвообразующих породах под все полевые и овощные культуры в обычных дозах.

Фосфорные удобрения. Установлено снижение поступления радионуклидов из почвы в растительную продукцию при внесении фосфорных удобрений, особенно на почвах с низким содержанием фосфатов. Фосфорные удобрения не только способствуют повышению урожайности возделываемых культур, но и закреплению стронция-90 за счет осаждения его фосфатами. Значительное уменьшение перехода стронция-90 из почвы в растительную продукцию связано с образованием в почве нерастворимых фосфатов стронция.

Для уменьшения поступления радионуклидов из почвы в растения определены среднегодовые основные и дополнительные дозы фосфорных удобрений в целом по севообороту, которые дифференцируются по типам почв, содержанию подвижного фосфора в почве и трем уровням плотности загрязнения радионуклидами:

первый — содержание цезия-137 в почвах от 1,0 до 4,9 Ки/км² или стронция-90 от 0,15 до 0,29 Ки/км²;

второй — содержание цезия-137 в почвах от 5,0 до 14,9 Ки/км² или стронция-90 от 0,30 до 0,99 Ки/км²;

третий — содержание цезия-137 в почвах от 15,0 до 40,0 Ки/км² или стронция-90 от 1,0 до 3,0 Ки/км² (табл. 10.9).

Учитывая высокую стоимость фосфорных удобрений, рекомендуется на загрязненных землях обеспечить внесение минимального количества фосфора, необходимого для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур, а также достижение и поддержание нижней границы оптимального содержания подвижных фосфатов в почве.

Таблица 10.9. Дозы фосфорных удобрений на загрязненных радионуклидами землях

Почвы	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Основные дозы P_2O_5 , кг/га	Дополнительные дозы P_2O_5 (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/км ²		
			^{137}Cs 1,0–4,9 ^{90}Sr 0,15–0,29	^{137}Cs 5,0–14,9 ^{90}Sr 0,30–0,99	
Пахотные земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	60 и менее	45	15	30	45
	61–100	40	10	20	30
	101–150	35	5	10	15
	151–250	20	–	5	10
Торфяно-болотные	Более 250	–	–	–	–
	200 и менее	60	20	40	60
	201–300	45	15	30	45
	301–500	30	10	20	30
501–800	20	–	5	10	–
Более 800	–	–	–	–	–
Улучшенные луговые земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	60 и менее	35	15	30	45
	61–100	30	10	20	30
	101–150	25	5	10	15
	151–250	10	–	5	10
Торфяно-болотные	Более 250	–	–	–	–
	200 и менее	55	15	30	45
	201–300	40	10	20	30
	301–500	35	5	10	15
501–800	20	–	5	10	–
Более 800	–	–	–	–	–

Калийные удобрения. Калийные удобрения оказывают наиболее сильное влияние на снижение поступления цезия-137 в растения. Это обусловлено как антагонизмом катионов цезия и калия в почвенном растворе, так и прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур, особенно на бедных калием дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. Внесение дифференцированных доз (в зависимости от типа почв, содержания в них подвижного калия и плотности загрязнения цезием-137 и стронцием-90) калийных удобрений на слабо обеспеченных подвижным калием почвах (<150 мг/кг почвы) уменьшает поступление в растения цезия-137 до 2,0 раза, а стронция-90 — до 1,5 раза.

По мере повышения загрязнения почв радионуклидами потребность в дополнительных дозах калия увеличивается. Установлено, что внесение калийных удобрений при сбалансированном азотно-фосфорном питании приводит не только к существенному уменьшению поступления из почвы в растения цезия-137, но и стронция-90. Особенно эффективно внесение повышенных доз калийных удобрений под многолетние травы, корнеплоды и картофель.

Исследования РУП «Институт почвоведения и агрохимии», проведенные с картофелем, показали, что внесение калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных позволило снизить содержание цезия-137 в продукции до 2,7 раза. При содержании подвижного калия на уровне 150 мг/кг почвы увеличение доз калийных удобрений с 80 до 240 кг д. в./га снижало переход цезия-137 в 1,8 раза.

Ориентировочные среднегодовые основные и дополнительные дозы калийных удобрений с учетом плотности загрязнения почв радионуклидами приведены в табл. 10.10.

На загрязненных землях дозы калия дифференцированы в зависимости от типов почв и содержания в них подвижного калия. По мере повышения загрязнения почв радионуклидами потребность в дополнительных дозах калия увеличивается.

На землях с высоким содержанием подвижных форм калия (более 300 мг/кг на минеральных и 1000 мг/кг на торфяных почвах) целесообразно внесение минимальных доз удобрений для поддержания оптимального калиевого режима почв.

Таблица 10.10. Дозы калийных удобрений на загрязненных радионуклидами землях

Почвы	Содержание K ₂ O, мг/кг почвы	Основные дозы K ₂ O, кг/га	Дополнительные дозы K ₂ O (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/км ²		
			¹³⁷ Cs 1,0–4,9 ⁹⁰ Sr 0,15–0,29	¹³⁷ Cs 5,0–14,9 ⁹⁰ Sr 0,30–0,99	¹³⁷ Cs 15,0–40,0 ⁹⁰ Sr 1,00–3,00
Пахотные земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	80 и менее	100	50	100	150
	81–140	90	30	60	90
	141–200	80	20	40	60
	201–300	55	15	30	45
	Более 300	–	–	–	–
Торфяно-болотные	200 и менее	140	40	80	120
	201–400	120	30	60	90
	401–600	100	20	40	60
	601–1000	60	10	20	30
	Более 1000	–	–	–	–
Луговые земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	80 и менее	80	40	80	120
	81–140	70	30	60	90
	141–200	60	20	40	60
	201–300	45	15	30	45
	Более 300	–	–	–	–
Торфяно-болотные	200 и менее	100	40	80	120
	201–400	90	30	60	90
	401–600	80	20	40	60
	601–1000	60	10	20	30
	Более 1000	–	–	–	–

Применение комплексных удобрений (сложных, смешанных, сложно-смешанных), содержащих помимо фосфора и калия азот в процентном соотношении, не превышающем половины содержания фосфора, разрешается в целях обеспечения оптимального баланса по элементам питания.

Необходимое количество минеральных удобрений для сельскохозяйственных предприятий, районов и областей рассчитывается путем умножения нормативных доз на площадь земель с данными показателями дифференциации и последующим суммированием

по этим показателям. При уровнях загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90, относящихся к разным интервалам, в расчетах используется большее значение нормативной дозы удобрений.

Микроудобрения. В системе агрохимических приемов при возделывании сельскохозяйственных культур в зоне радиоактивного загрязнения большое значение приобретает применение микроудобрений. Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая сельскохозяйственных культур и качества продукции. Прибавка урожая от применения различных микроудобрений достигает 10–15 %, улучшается качество продукции, снижается переход радионуклидов, продлеваются сроки ее хранения.

В условиях дефицита микроудобрений наиболее рациональными и экономически оправданными способами их внесения являются предпосевная обработка семян и некорневая подкормка растений в период вегетации. Их можно проводить как в виде самостоятельного технологического приема, так и совместно с макроудобрениями, средствами защиты и регуляторами роста растений.

Например, некорневая подкормка тимофеевки луговой марганцем в дозе 50 г/га обеспечивает снижение накопления цезия-137 и стронция-90 в продукции на 30–40 %, повышение содержания марганца в сене — на 34 % и урожайности — на 15–20 %.

Под сельскохозяйственные культуры рекомендуется применять те же дозы микроудобрений, что и на не загрязненных радионуклидами землях.

Микроудобрения необходимо вносить на почвах первой и второй групп обеспеченности микроэлементами. На почвах третьей группы обеспеченности некорневые подкормки проводятся при интенсивных технологиях возделывания культур, ориентированных на получение высокой урожайности и качественной продукции.

Глава 11

АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

11.1. История развития агрохимической службы

Эффективное применение удобрений и других средств химизации в большой степени зависит от организации агрохимического обслуживания сельского хозяйства.

Для агрохимического обслуживания сельского хозяйства в 1964 году была создана единая специализированная агрохимическая служба. Первоначально в задачи агрохимической службы входили: агрохимическое обследование всех земель сельскохозяйственного пользования; составление агрохимических картограмм и выдача каждому хозяйству рекомендаций по применению удобрений и проведению известкования кислых почв; закладка и проведение опытов с удобрениями непосредственно на полях колхозов и совхозов; анализы растений и кормов для установления влияния удобрений на качество продукции.

Основу агрохимической службы в то время составляли областные зональные агрохимические лаборатории и станции защиты растений, каждая из которых обслуживала колхозы и совхозы области.

До 1970-х годов агрохимическая служба выполняла в основном консультативные функции и не отвечала за рациональное использование удобрений и других средств химизации в колхозах и совхозах.

В связи с увеличением объемов применения средств химизации для своевременного и качественного выполнения рекомендаций агрохимической службы в колхозах и совхозах потребовалась четкая организация всех работ по использованию химических средств. С

этой целью в начале 1970-х годов были организованы специализированные производственные подразделения по агрохимическому обслуживанию — районные отделения «Сельхозтехника». Эти спецотделения осуществляли централизованное хранение, транспортировку и внесение удобрений, химических средств защиты растений, заготовку торфа на удобрение, культуртехнические работы.

Зональные агрохимические лаборатории должны были не только выполнять перечисленные выше работы, но и осуществлять систематический контроль за своевременным их проведением, нести ответственность за рациональное использование удобрений на полях, совершенствовать формы и методы агрохимического обслуживания хозяйств.

В 1978 году областные зональные агрохимические лаборатории были преобразованы в областные проектно-изыскательские станции химизации.

Учитывая множественность форм агрохимического обслуживания, его разобщенность и необходимость дальнейшего совершенствования, в 1979 году было принято решение о создании в системе Министерства сельского хозяйства специализированной агрохимической службы — ПНО «Белсельхозхимия». В областях и районах были организованы соответствующие производственные объединения. В состав областных объединений вошли областные проектно-изыскательские станции химизации и станции защиты растений, а в состав районных — агрохимические отделы и районные станции защиты растений. Научное руководство агрохимическим обслуживанием в республике осуществляли Белорусский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии и Белорусский научно-исследовательский институт защиты растений.

После преобразования Госагропрома Республики Беларусь в Министерство сельского хозяйства и продовольствия в 1991 году в его составе было образовано Управление агрохимии и защиты растений. В областях и районах руководство этими службами осуществляли комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию облисполкомов и управления сельского хозяйства и продовольствия райисполкомов.

В непосредственное подчинение Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь были переданы республиканская контрольно-токсикологическая лаборатория и

республиканская лаборатория биологического метода защиты растений.

В подчинение комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию облисполкомов были переданы областные проектно-исследовательские станции химизации сельского хозяйства, областные станции защиты растений с контрольно-токсикологическими лабораториями и специализированными лабораториями для выявления очагов картофельной нематоды и рака картофеля, областные лаборатории биологического метода защиты растений.

Из состава районных объединений «Агрохимсервис» районные станции защиты растений и агрохимические отделы были переданы соответственно в состав областных станций защиты растений и областных проектно-исследовательских станций химизации сельского хозяйства. Районные станции защиты растений и агрохимические отделы действовали в районах как филиалы указанных областных станций.

Отраслевые научно-исследовательские институты сотрудничали с Управлением агрохимии и защиты растений, участвовали в научных исследованиях, внедрении достижений науки и передового производственного опыта.

По агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства работали хозяйственные и межхозяйственные пункты химизации, постоянные и сезонные отряды плодородия. Большой объем работ по внесению минеральных удобрений и средств защиты растений выполняли также предприятия и подразделения сельскохозяйственной авиации. В районах и крупных хозяйствах функционировали межхозяйственные и хозяйственные агрохимические лаборатории.

11.2. Структура и задачи агрохимической службы Республики Беларусь

Весь комплекс агрохимических мероприятий в сельскохозяйственных предприятиях Беларуси осуществляется областными проектно-исследовательскими станциями по химизации сельского хозяйства под руководством Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, областных комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию. Структура агрохимической службы Беларуси представлена на рис. 11.1.

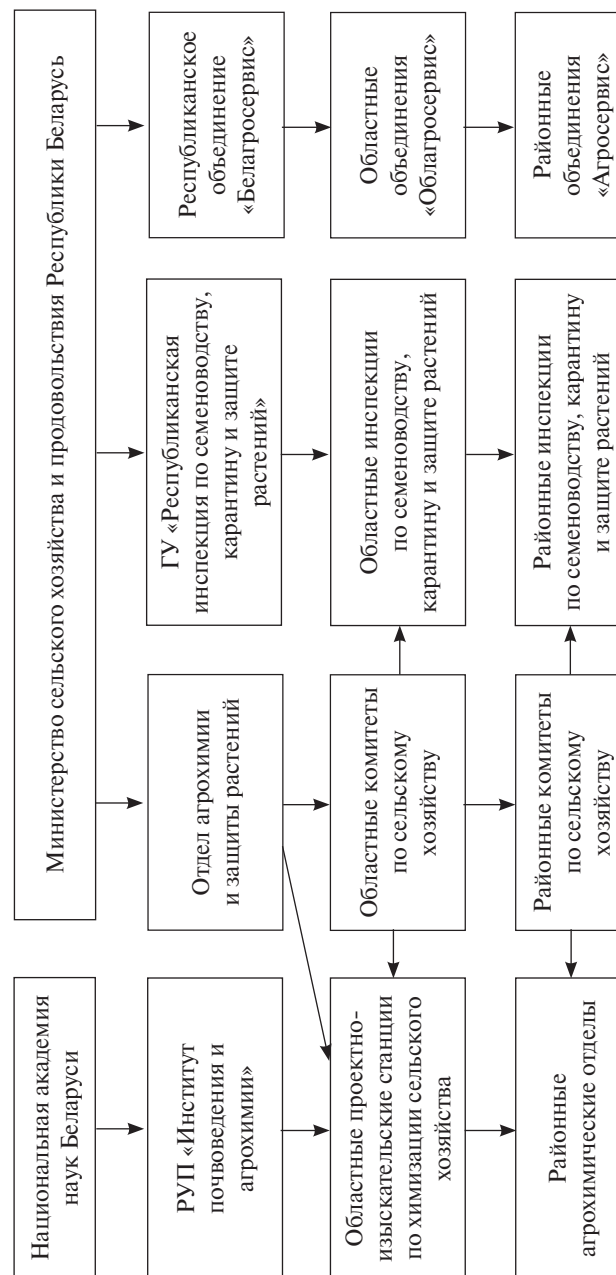


Рис. 11.1. Структура агрохимической службы Беларуси

Научно-методическое руководство агрохимической службой осуществляет РУП «Институт почвоведения и агрохимии» Национальной академии наук Беларуси.

Министерству сельского хозяйства и продовольствия непосредственно подчинены ГУ «Республиканская инспекция по семеноводству, карантину и защите растений», РО «Белагросервис» (рис. 11.2) и отдел агрохимии и защиты растений.

Главная задача агрохимической службы — это периодический контроль за состоянием агрохимических показателей плодородия почв сельскохозяйственных земель и проведение комплекса мероприятий по их улучшению.

Деятельность агрохимической службы осуществляется по двум основным направлениям:

1. Контроль за состоянием плодородия почв, разработка проектно-сметной документации на известкование кислых почв, разработка рекомендаций по эффективному использованию минеральных и органических удобрений.

2. Проведение работ по централизованному обеспечению хозяйств республики минеральными удобрениями, внесение известковых мелиорантов (за счет средств государственного бюджета), органических и минеральных удобрений, средств химической защиты растений (по договорам с сельскохозяйственными предприятиями).

Областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства являются связующим звеном между наукой и производством. Главная их задача — организация эффективного применения удобрений и других средств химизации в сельскохозяйственных предприятиях.

Областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства проводят крупномасштабное агрохимическое и радиационное обследование почв, разрабатывают проектно-сметную документацию на известкование кислых почв, планы применения удобрений под сельскохозяйственные культуры по методикам и инструкциям РУП «Институт почвоведения и агрохимии».

Крупномасштабное агрохимическое и радиационное обследование почв проводится с периодичностью один раз в 4 года по 12 показателям: степень кислотности почв, содержание гумуса, фосфора, калия, кальция, магния, серы, меди, цинка, бора, плотность загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90.

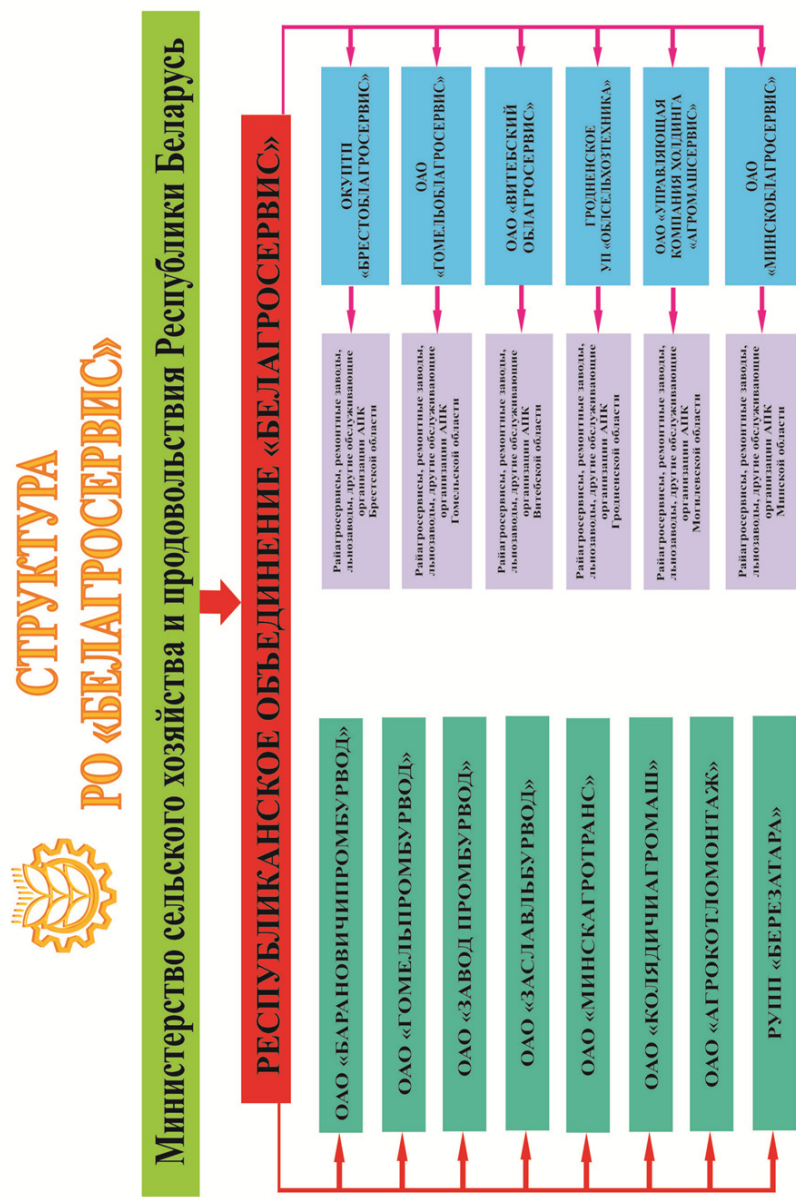


Рис. 11.2. Структура республиканского объединения «Белагросервис»

Данные обследований на уровне элементарных участков накапливаются в банке данных агрохимических свойств почв Республики Беларусь. Данные по агрохимическим показателям ежегодно обновляются по вновь обследованному району. Результаты исследований используются для разработки проектно-сметной документации на известкование кислых почв, разработки планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры. Эти работы выполняются на ПЭВМ по методикам Института почвоведения и агрохимии и программному обеспечению Института системных исследований в АПК. Кроме того, агрохимические показатели почв являются основой для разработки комплекса мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв и защите их от деградации.

Республиканские, областные и районные объединения «Белгроссервис» имеют складские помещения для хранения твердых минеральных удобрений и емкости для хранения жидких минеральных удобрений, специализированные механизированные отряды, в связи с чем оказывают услуги сельскохозяйственным предприятиям по приобретению и хранению минеральных удобрений, внесению их в почву, внесению известковых мелиорантов в соответствии с проектно-сметной документацией.

ГУ «Республиканская инспекция по семеноводству, карантину и защите растений», наряду с другими задачами, организует работу по проверке эффективности применения новых форм средств химической защиты растений и удобрений, их государственную регистрацию и включение в Государственный реестр химикатов, разрешенных для применения на территории республики.

Глава 12

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ПРИЕМЫ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

12.1. Экологическая оценка агрохимических средств и их влияние на компоненты окружающей среды

Охрана природы — одна из важнейших задач сельского хозяйства. Агрономы, агрохимики, почвоведы, а в целом каждый работник сельского хозяйства является самым первым блюстителем порядка в природе, ее главным хранителем. Рациональное хозяйствование на земле — важнейшее условие ее процветания.

Нарушение научно обоснованной технологии применения удобрений является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды. Интенсивное применение удобрений усиливает миграцию и потери кальция, магния, серы и других биогенных элементов. Одним из недостатков минеральных удобрений является наличие в них балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсических тяжелых металлов (кадмия, свинца и др.), которые могут отрицательно влиять на свойства и плодородие почвы, урожай и его качество. Особую опасность представляют применяемые на удобрение отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс, а также сапропель и др., которые обычно применяют в высоких дозах. Они содержат значительное количество элементов-загрязнителей.

Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот, баланс элементов питания, агрохимические свойства, плодородие почвы.

Нарушение оптимального питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Интенсивное использование средств химизации резко обострило проблемы охраны окружающей среды. Нарушение требований применения удобрений, в первую очередь азотных и бесподстилочного навоза, не только негативно воздействует на водоемы, водоисточники, растительность, но нередко приводит к повышенному содержанию в растениеводческой продукции соединений, вредных для человека и животных.

Неблагоприятное влияние применяемых в сельском хозяйстве удобрений на окружающую среду многостороннее, последствия которого сказываются практически на всех ее компонентах (почве, природных водах, атмосфере, растениеводческой продукции) и в конечном счете на человека и животных.

Основные причины загрязнения природной среды минеральными и органическими удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования следующие:

- 1) несовершенство технологии транспортировки, хранения, тукоsmешения и внесения удобрений;
- 2) нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и в отдельных культурах;
- 3) водная и ветровая (дефляция) эрозия почв;
- 4) несовершенство качества минеральных удобрений;
- 5) недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем удаления на животноводческих фермах, что в 1–2 раза уменьшает выход высококачественных удобрений, приводит к ежегодным большим потерям жидких органических фракций;
- 6) неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и их несовершенства;
- 7) нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;

8) недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих остатков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, что приводит к потерям навоза;

9) интенсивное использование различных промышленных, городских отходов на удобрение без систематического и тщательного контроля их химического состава.

Грамотное применение удобрений повышает урожай сельскохозяйственных культур, улучшает баланс питательных элементов в земледелии, способствует расширенному воспроизводству плодородия почвы, замедляет, а иногда и прекращает эрозию почвы. По данным Института почвоведения и агрохимии, минеральные удобрения на 40–45 % формируют продуктивность пахотных земель Беларуси. Однако эти достоинства минеральных удобрений проявляются только при условии их правильного изготовления, транспортировки, хранения, внесения в почву в нужных для растений сочетаниях и строго заданных количествах. Неравномерное внесение удобрений, неоправданно высокие их дозы снижают урожайность культур, ухудшают качество продукции, загрязняют окружающую среду.

В несовершенстве технологии транспортировки, хранения и внесения удобрений следует выделить ряд моментов. Недостаток в транспортировке удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефекте специально оборудованных автотранспортных средств. Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям.

Серьезные недостатки имеются и в организации хранения удобрений. Не во всех хозяйствах имеются складские помещения или специально оборудованные площадки для их хранения. Увеличение объема складских помещений, а также совершенствование механизированной работы на складах, т. е. погрузочно-разгрузочных работ и тукоsmешения с заданным соотношением элементов питания снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения.

Необходимым условием производительного расходования удобрений является равномерное распределение их по поверхности поля. При неравномерности внесения 20–25 % и более увели-

чивается пестрота посевов, неравномерность созревания, снижается качество продукции и повышаются потери элементов питания почвы. По агрохимическим требованиям к машинам для внесения минеральных удобрений неравномерность разбросного внесения не должна превышать 15 %.

По данным российских ученых, недобор урожая зерна при неравномерности внесения 60–80 % снижается на 5 ц/га, картофеля — 15, сахарной свеклы — 20 ц/га.

Нарушение научно обоснованной агрономической технологии применения удобрений является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды. Азотные удобрения при нарушении технологии их применения могут оказать негативное воздействие на биосферу — почву, воду, атмосферу, растения, а через них на человека и животных. Азот усваивается в полевых условиях примерно на 40 %, в отдельных случаях — на 50–70 %, иммобилизуется в почве — на 20–30 %. Большая его часть включается в состав трудногидролизуемых гумусовых веществ.

Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений (NH_3 , N_2O и N_2) составляют в среднем 15–30 % от внесенного. Потери от вымывания зависят от свойств почвы, водного режима, формы и дозы удобрений, возделываемой культуры и т. д. В Нечерноземной зоне в среднем вымывается 10–15 кг/га нитратного азота, на супесчаных — 20–25 кг/га, а на суглинистых — 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое.

Применение высоких доз азотных удобрений способствует накоплению нитратного азота в почве в количествах, превышающих ПДК (130 мг/кг).

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду, вследствие малой его подвижности в почве не представляет такой экологической опасности как азот. Потери фосфора чаще происходит в процессе эрозии почв. В результате поверхностного смыва с каждого гектара уносится 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая фиксирующая способность глинистых и суглинистых почв препятствует его миграции по профилю почвы, тем более в грунтовые воды.

Потери калия более значительны, чем фосфора и составляют в Беларуси в зависимости от типа почвы и гранулометрического состава 10–33 кг/га в год.

Фактором, усугубляющим негативное влияние на окружающую среду, является водная и ветровая эрозии. В Беларуси 8,6 % пашни, 6,2 % сельскохозяйственных земель подвержены водной эрозии и соответственно 1,5 и 0,9 % — ветровой эрозии (дефляции). В условиях республики за год с гектара потери, с поверхностным стоком составляют: 10–15 т твердой фазы почвы, 150–160 кг гумуса, 10 кг N, 4–5 кг P_2O_5 и K_2O , 5–6 кг CaO и MgO.

Потери элементов питания зависят от вида культуры (минимальны они под многолетними травами), количества атмосферных осадков, степени эродированности, гранулометрического состава.

Значительный ущерб окружающей среде наносит несовершенство технологии накопления, хранения органических удобрений на крупных животноводческих комплексах, что приводит к скоплению на фермах огромных масс навозных стоков, часть из которых попадает в реки и озера, другая часть мигрирует по почвенному профилю.

При бесконтрольном ненормированном использовании бесподстилочного навоза, особенно навозных стоков, усиливаются дегумификация, эрозионные процессы в почве, в ней накапливаются токсические соединения, происходит химическое и биологическое загрязнение почвогрунтов. Большую опасность представляет строительство больших (на 50 тыс. голов) животноводческих комплексов. В странах ЕС запрещено строительство животноводческих комплексов более чем на 15 тыс. голов.

Установлено также негативные последствия, содержащихся в бесподстилочном навозе остаточных количеств дезинфицирующих веществ, различных медицинских препаратов, прежде всего антибиотиков, применяемых на фермах, на биологическую активность почвы, процессы гумусообразования.

При хранении подстилочного навоза в неуплотненных неукрытых штабелях, а полужидкого навоза без компостирования потери азота могут составлять до 50 %, при разбрасывании навоза без заделки за 4 ч потери аммиачного азота могут достигать 55 %, за 12 ч — 65 %, за 24 ч — 70 %, за 48 ч — 80 %.

При несбалансированном внесении минеральных удобрений снижается урожайность, ухудшается качество сельскохозяйственной продукции, в ней накапливаются вредные для здоровья людей и животных вещества, возникают заболевания растений, растениеводческая продукция может стать причиной отравления людей и животных.

Неправильное применение удобрений ухудшает агрохимические свойства почв, снижает плодородие. Особенно значительны потери питательных элементов от эрозии, а также при поверхностном внесении удобрений.

Огромный ущерб окружающей среде, в том числе сельскохозяйственным угодьям, наносит использование природных источников энергии (газа, нефти, угля), при сгорании которых в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ, мощное развитие транспорта. Ежегодно в мировом хозяйстве сжигается 2,4 млрд т каменного угля и 0,9 млрд т бурого, при этом рассеивается 280 тыс. т мышьяка и 224 тыс. т урана. Metallургические предприятия ежегодно выбрасывают на поверхность Земли более 150 тыс. т меди, 120 тыс. т цинка, 90 тыс. т свинца, 12 тыс. т никеля. Радиус техногенного загрязнения металлами составляет от 2–3 км вокруг промышленных предприятий до 8–12 и даже 20–25 км вокруг крупных промышленных комплексов.

При избыточном внесении удобрений, в первую очередь азотных, неправильном, несвоевременном их применении водоемы и грунтовые воды загрязняются нитратами, сульфатами, хлоридами и другими соединениями. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоемов представлены в табл. 12.1.

Повышение в водоемах концентрации питательных элементов вызывает эвтрофикацию водоемов. Эвтрофикация — это обогащение вод питательными элементами, прежде всего азотом и фосфором, антропогенным или естественным путем. Наиболее нежелательное последствие эвтрофикации — чрезмерное развитие водорослей в водоемах — «цветение» и заболачивание из-за разрастания прибрежной флоры, что постепенно сокращает площадь водоема. Оптимальный рост водорослей происходит при концентрации фосфора 0,09–1,8 мг/л, нитратного азота — 0,9–3,5 мг/л, цветение воды — при повышении концентрации фосфора в ней 0,01 мг/л. Более низкие концентрации этих элементов ограничива-

ют рост водорослей. Исследования показали, что за эвтрофикацию водоемов «ответственны» прежде всего азот и фосфор и фосфор в этом процессе более важен. Среди других веществ — органический углерод, микроэлементы и витамины. В то же время умеренная эвтрофикация повышает рыбную продуктивность водоемов.

Таблица 12.1. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоемов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного использования, мг/л

Вещество	Водоемы	
	хозяйственно-питьевые	рыбохозяйственные
Бор	0,5	0,1
Медь	1,0	0,004
Молибден	0,25	0,0012 к природному фону
Мышьяк	0,05	0,05
Нитраты	45	40
Нитриты	3,3	0,08
Сульфаты	500	100
Хлориды	350	30
Мочевина	0,1	80
Кадмий	0,01	—
Свинец	0,1	—
Ртуть	0,001	—
Селен	0,01	—

Водоохранной зоной является территория, прилегающая к акваториям малых рек, на которой устанавливается специальный режим, предупреждающий загрязнение, засорение, истощение и заиливание водоемов. В водоохранную зону могут включаться поймы рек, надпойменные террасы, бровки и крутые склоны берегов, а также балки и овраги, впадающие в речную долину. Наименьшая ширина водоохранной зоны установлена в зависимости от среднемноголетнего уреза воды в летний период: для рек длиной до 50 км — 100 м; для рек длиной до 100 км — 200 м; для рек длиной свыше 100 км — 300 м. Для мелких рек и ручьев длиной до 10 км устанавливается водоохранная полоса шириной 15 м. В водоохранной зоне малых рек запрещается опыление сельскохозяйственных угодий пестицидами, размещение складов для хранения пестицидов и удобрений, в том числе навоза, ферм, животноводческих

комплексов, взлетно-посадочных полос для сельскохозяйственной авиации.

Вместе с минеральными удобрениями в почву вносится фтор. Его содержат фосфорные и некоторые комплексные удобрения. С каждой тонной простого суперфосфата в почву попадает 6,2 кг фтора, двойного — 4 кг. В среднем на 10 единиц фосфора в почву вносится 1 единица фтора. Ежегодно в мире с фосфорными удобрениями в почву вносится около 3 млн. т фтора. Допустимое содержание фтора в почве — 3 мг/кг, при превышении этого уровня он накапливается в токсических количествах в кормах, а также мигрирует в грунтовые воды. Выдвигается гипотеза, что сильнее фтор накапливается в растениях, поступая из воздуха через надземные части. Предельно допустимая концентрация фторида водорода — 0,02 мг/м³ воздуха. Сильное загрязнение фтором вблизи предприятий по производству фосфорных удобрений является причиной флюороза — хронического заболевания, выражающегося в изменении тканей зубов и других костных образований. Источниками загрязнения фтором являются также предприятия по производству стекла, алюминия, металлургические и кирпичные заводы.

Избыток фтора неблагоприятно действует на растения, угнетая ферменты, тормозя фотосинтез, процессы дыхания, рост. Больше всех накапливают фтор петрушка, шавель, лук. Суточная норма потребления фтора человеком — 3 мг.

Установлено, что если содержание фтора в воде больше 2 мг/л, у человека разрушается эмаль зубов, а если больше 8 мг/л, развивается остеосклероз или флюороз скелета. Повышенное содержание фтора в воде и кормах снижает продуктивность животных, угнетает их развитие, приводит к отравлению. Максимальное содержание фтора в дневном рационе кур составляет 150 мг/кг, коров — 30, свиней — 70 мг/кг.

С калийными удобрениями (калия хлорид, калийная соль и др.) в почву попадает хлор. В небольших количествах хлор необходим для нормального роста и развития растений. Суточная потребность в хлоре человека — 5–7 г. Большие его концентрации отрицательно влияют на урожай и качество картофеля, льна, гречихи, винограда и других культур.

12.2. Контроль за содержанием нитратов в растениеводческой продукции

Степень накопления нитратов в растениях зависит от особенностей сельскохозяйственных культур, условий минерального питания и почвенно-экологических факторов. Каждый из этих факторов может стать решающим в накоплении нитратов в растениях. Нитраты — непреходящий элемент круговорота азота в растениях. Они были, есть и будут, даже если полностью отказаться от применения удобрений. Главное, чтобы содержание нитратов в воде, растениеводческой продукции, других продуктах питания не превышало допустимые пределы.

Сами нитраты нужно расценивать как полезные питательные вещества для человека. Польза и вред любых веществ зависит от дозы. Это справедливо по отношению к витаминам, минералам и другим важным нутриентам (биологически значимым элементам). С нитратами такая же ситуация.

Установлено, что нитраты из овощей и фруктов в организме человека распадаются до окиси азота (NO) и повышают ее содержание. Американский биохимик Р. Ферчготт открыл, что окись азота очень полезна для сосудов. Она поддерживает их эластичность и расслабляет, препятствует развитию артериальной гипертонии и атеросклероза, образованию тромбов. Что интересно, нитраты превращаются в окись азота только в растительных продуктах. Превращение нитратов в канцерогенные нитрозамины блокируют витамин С, полифенолы и другие антиоксиданты овощей, зелени и фруктов. В воде и мясе нитраты вредны, так как превращаются в желудке в канцерогенное вещество нитрозамин.

Обычно накопление нитратов в растениях является следствием внесения чрезмерно высоких доз азотных удобрений, а также органических при определенных условиях: при нарушении углеводного обмена из-за нехватки калия, а также синтеза белковых соединений из аминокислот при дефиците фосфора и молибдена. На плодородных почвах растения накапливают много нитратов и без внесения удобрений. Исследования показали, что на долю азотных удобрений в числе всех факторов, влияющих на накопление нитратов, приходится 47 %.

Факторами внешней среды, оказывающими существенное влияние на накопление нитратов, являются свет, влажность, тем-

пература воздуха и почвы. Нормальная обеспеченность светом — одно из решающих условий ассимиляции нитратов в растениях и снижения их концентрации.

К числу регулируемых факторов, влияющих на накопление нитратов в растениях, относится обеспеченность растений фосфором, калием, микроэлементами.

На накопление нитратов влияют видовые и сортовые различия. Больше их накапливается у растений с незавершенным циклом развития, главным образом в частях (корни, стебли, черешки, жилки), транспортирующих питательные вещества. Много нитратов накапливают листовые овощные культуры (салат, укроп, петрушка, сельдерей, зеленый лук и др.), корнеплоды (свекла столовая, редис, редька и др.).

Мало накапливается нитратов в плодах яблони, груши, вишни, сливы и других культур семейства розоцветных, так как в их корнях нитраты восстанавливаются благодаря высокой активности фермента нитратредуктазы.

Сортовые различия в отношении накопления нитратов у редиса достигают 55 %, у томатов — 200–300, у свеклы — 200 %.

Распределение нитратов в растении имеет свою специфику. Внешние листья кочана капусты в 2 раза богаче нитратами, чем внутренние, еще больше их в кочерыге. У картофеля в кожуре и сердцевине нитратов содержится в 1,1–1,3 раза больше, чем в остальной части клубня. В огурцах содержание NO_3 возрастает от верхушки плода к его основанию, причем в кожуре их больше, чем в мякоти.

При избыточном поступлении нитратов в организм человек заболевает метгемоглобинемией (синюшность). Эта болезнь развивается вследствие окисления двухвалентного железа Fe^{2+} в трехвалентное Fe^{3+} . Образующиеся под действием нитратов метгемоглобин и нитрогемоглобин не могут доставлять кислород к тканям организма. У здорового человека содержание метгемоглобина в крови не превышает 2 %. Легкая форма этого заболевания наблюдается при содержании в крови 10–20 % метгемоглобина, средняя — 20–40, тяжелая — свыше 40 %. Замещение 20 % гемоглобина метгемоглобином и нитрогемоглобином вызывает отравление, сопровождающееся сильной гипоксией, т. е. кислородной недостаточностью. При 80%-м замещении гемоглобина наступает смерть от удушья.

Смертельные случаи отравления нитратами отмечаются крайне редко. Они были зафиксированы в США, европейских и других странах в основном при употреблении воды с повышенным содержанием нитратов, реже — овощей (шпината, огурцов и т. д.).

Хотя заболевания метгемоглобинемией встречаются и редко, но длительное употребление воды, пищи и кормов, богатых нитратами, может вызывать болезни обмена веществ, опорно-двигательной и нервной системы, генеративных органов и генетические нарушения. Нитраты атакуют иммунную систему и наследственный аппарат, усиливают восприимчивость к заболеваниям.

Образованию нитрозаминов препятствует аскорбиновая кислота. Исследованиями было установлено, что при соотношении витамина С к нитратам 2:1 и более нитроамины не образуются.

Основными источниками нитратов для человека является питьевая вода и овощные культуры (зеленные культуры, свекла, капуста и др.), причем более опасны тепличные овощи. В среднем на овощи приходится 70–80 % нитратов, питьевую воду — 10–15 %, а остальные (от 5 до 20 %) — на молоко, мясопродукты и соки. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила допустимый предел поступления нитратов в организм человека — 3,5 мг на 1 кг веса. Однако лучше, если дневной «паек» нитратов не будет превышать 120–140 мг.

Допустимые пределы содержания нитратов в продуктах питания в различных странах далеко не одинаковы в силу различных факторов (климатических условий, особенностей питания и др.). Предельно допустимые концентрации нитратов в овощах, фруктах, картофеле приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2. Предельно допустимые концентрации нитратов в картофеле, овощах и фруктах, мг/кг сырого продукта

Вид продукции	Для открытого грунта	Для защищенного грунта
1	2	3
Картофель	250	—
Морковь ранняя	400	—
Морковь поздняя	250	—
Капуста поздняя	500	—
Капуста белокочанная ранняя	900	—

Окончание табл. 12.2

1	2	3
Кабачки	400	—
Лук-перо	600	800
Лук-репка	80	—
Томаты	150	300
Огурцы	150	400
Листовые овощи (салат, щавель, укроп, петрушка, шпинат и др.)	2000	3500
Свекла столовая	1400	—
Яблоки, груши, арбузы	60	—
Салат латук свежий	—	3500 (с 1 апреля по 30 сентября)
		4500 (с 1 октября по 31 марта)
Дыни	90	—
Салат латук айсбергового типа	—	2000

Предельно допустимая концентрация нитратов для воды и молока — 45 мг/л. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена ПДК нитратного азота в питьевой воде для умеренных широт 22 мг/л, для тропиков 10 мг/л. Установлены также ограничения содержания нитратов в кормах для животных. Предельно допустимое содержание нитратов в силосе и сенаже, комбикормах, картофеле, зеленых кормах и зернофураже — 500 мг, сене — 1000, травяной муке — 2000, кормовой свекле — 1500 мг в 1 кг сырого продукта.

Содержание нитратов в растениеводческой продукции можно снизить различными приемами. Под все сельскохозяйственные культуры разработаны предельно допустимые дозы азотных удобрений, гарантирующие получение «чистой» продукции и исключаящие загрязнение окружающей среды (см. табл. 5.6). Эти дозы были приведены при рассмотрении азотных удобрений. Экологически безопаснее медленнодействующие азотные удобрения, производство которых налаживается на ОАО «Гродно Азот». Во влажные холодные годы с большим количеством осадков дозы азота должны уменьшаться. Способствуют также снижению накопления нитратов в растениях ингибиторы нитрификации.

Локальное внесение аммонийных и амидных удобрений в некоторых случаях уменьшает содержание нитратов в сельскохозяйственной продукции, что объясняется замедлением нитрификации в ленте удобрений. Однако локальное внесение удобрений и ингибиторы нитрификации не гарантируют получения продукции с низким содержанием нитратов, так как в разных почвенно-экологических условиях степень замедления нитрификации в почве различна.

Существенное влияние на накопление нитратов оказывают сортовые особенности сельскохозяйственных культур. В связи с этим значительно снизить содержание нитратов в овощных и других сельскохозяйственных культурах можно подбором сортов, накапливающих меньше нитратов.

12.3. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и способы снижения их накопления в растениеводческой продукции

Из большого количества разнообразных веществ, поступающих в окружающую среду из антропогенных источников, особое место занимают тяжелые металлы (ТМ). Почему агрохимики изучают поведение их в окружающей среде? С одной стороны, это связано с тем, что тяжелые металлы содержатся в органических и минеральных удобрениях. Особую опасность представляет внесение бесподстилочного навоза в высоких дозах, что имеет место около животноводческих комплексов, внесение осадка сточных вод и т. д. С другой стороны, с помощью удобрений и известкования снижают поступление тяжелых металлов в растения.

К тяжелым металлам относятся свыше 40 элементов, плотность которых больше 6 г/см^3 , а атомная масса превышает 40 атомных единиц. По токсичности и способности накапливаться в пищевых цепях лишь немногим более 10 элементов признаны приоритетными загрязнителями биосферы. Среди них выделяют ртуть, кадмий, свинец, медь, ванадий, олово, цинк, молибден, никель. Три элемента (ртуть, кадмий, свинец) считаются наиболее опасными.

Главный источник атмосферного загрязнения — это тепловые электростанции (на их долю приходится 27 % всех выбросов в

атмосферу) и предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов (8,1 %). От 10 до 30 % поступивших в атмосферу тяжелых металлов оседает в радиусе 10 км от промышленного предприятия. В Беларуси в атмосферу ежегодно выбрасывается 400 т никеля, 290 т мышьяка, 230 т урана, 174 т кобальта, 58 т свинца.

Тяжелые металлы в окружающей среде играют двойную роль. Они являются неотъемлемым компонентом нормальных физиологических процессов, но в то же время токсичны при повышенных концентрациях, приводят к нарушению метаболизма и функционирования живых организмов на любой стадии онтогенеза. Во многих случаях эти нарушения являются необратимыми и смертельными. В токсичных концентрациях ТМ проявляют канцерогенные свойства, отрицательно воздействуют на генетическую мембранную, ферментно-белковую систему клетки, вызывают нарушение концентраций веществ, необходимых для энергетического метаболизма, изменяют активность ферментов, уровень содержания в клетках кальция и магния, необходимых для нормального функционирования организма.

Тяжелые металлы вызывают сердечно-сосудистые расстройства, тяжелые формы аллергии, обладают эмбриотрогенным и канцерогенным действием, т. е. способствуют возникновению онкологических заболеваний.

Однако не все тяжелые металлы в одинаковой мере токсичны. В группу умеренно токсичных ТМ входят медь, цинк, марганец, кобальт, молибден, получившие название микроэлементы, имеющие важное биологическое значение в жизни теплокровных, растений и микроорганизмов.

Поэтому справедливо использовать понятие тяжелые металлы, когда речь идет об опасных для живых организмов концентрациях элемента.

Тяжелые металлы способны оказывать токсическое воздействие и на растения, которое может быть прямым и косвенным. Косвенное воздействие — это ухудшение свойств почвы, снижение плодородия, угнетение почвенной биоты, в результате чего ухудшается качество растительной продукции. Прямое влияние состоит в накоплении ТМ в растениях, что приводит к их отравлению. Наиболее общие симптомы фитотоксичности, характерные для

большинства растений, — это угнетение роста, изменение окраски, хлороз, патология цветков, изменение формы листьев.

Рассмотрим действие на живые организмы тяжелых металлов. Медь — биоэлемент, являющийся постоянным компонентом почв, растений. Медь имеется в тканях животных и участвует в метаболических процессах. Основная функция меди в организме человека и животных — участие в кроветворении и белковом обмене. Ю. В. Алексеев отмечает, что при недостаточности содержания меди у растений наблюдается задержка роста, хлороз листьев и потеря тургора, уменьшение урожая. Медь усиливает процесс фотосинтеза, углеводный обмен, образование витаминов В и Р, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды. Как указывает Ю. В. Алексеев, медь из почвы в растения мигрирует слабо. Активно поглощают ее картофель, морковь, гречиха. Обычно содержание меди в растениеводческой продукции составляет 1–10 мг/кг, но при применении медьсодержащих удобрений возрастает в 2–4 раза. По данным Р. Б. Сливинской, фитотоксичность меди выше, чем цинка, что особенно выражено на легких почвах.

Согласно М. Г. Опекуновой, существует антагонизм в накоплении меди и марганца в корнях и надземных растительных органах. В токсичных концентрациях медь ингибирует активность ферментов: щелочной фосфатазы, каталазы, оксидазы и рибонуклеазы. Соли меди в больших концентрациях оказывают на животные ткани прожигающее действие вследствие свертывания ими белков, а также нарушения проницаемости биомембран, что вызывает нарушение работы регуляторной системы клетки. Установлена связь между частотой болезней органов дыхания и валовыми выбросами сульфата меди.

Среднее содержание подвижной меди в почвах пашни Беларуси невелико и составляет 1,78 мг/кг, улучшенных сенокосных и пастбищных земель — 2,14 мг/кг. В целом по республике 53,9 % пахотных и 40,2 % сенокосных и пастбищных земель имеют очень низкую обеспеченность медью (менее 1,5 мг/кг) и остро нуждаются в применении медьсодержащих удобрений. На почвах с избыточным содержанием меди (1,9 % пахотных земель и 4,7 % улучшенных сенокосов) использование любых форм удобрений, содержащих медь, должно быть исключено. В Беларуси 260,3 га сельскохозяйственных земель загрязнены медью (табл. 12.3).

Таблица 12.3. Сельскохозяйственные земли Беларуси, загрязненные медью, тыс. га
(И. М. Богдевич и др.)

Область	Всего загрязнено	В том числе по содержанию Cu, мг/кг			
		5,1–7,0	7,1–15,0	15,1–30,0	Более 30
Брестская	85,2	59,8	25,3	0,1	—
Витебская	15,9	11,7	3,9	0,2	0,1
Гомельская	60,8	38,3	20,1	2,4	—
Гродненская	43,9	26,3	16,0	1,4	0,2
Минская	37,0	22,6	13,3	1,1	—
Могилевская	17,5	10,4	7,1	—	—
Всего по Беларуси	260,3	169,1	85,7	5,2	0,3

Цинк в работах многих исследователей характеризуется как элемент, имеющий большое биологическое значение, и как участник многих биологических циклов, входящий в состав 80 ферментов. В растительных клетках цинк центрируется в ядре и митохондриях, накапливается в листьях, репродуктивных органах. В работе Ю. В. Алексеева показано, что цинк интенсивнее накапливается в злаках, чем в бобовых культурах. Считают, что динамика содержания цинка различна у разных растений. Цинк влияет на синтез белков и ауксинов, интенсифицирует процесс фотосинтеза. При недостатке цинка в растительных организмах наблюдается нарушение работы окислительных ферментов, углеводного и белкового обмена, уменьшение образования хлорофилла, витаминов С, Р и группы В. Симптомами недостаточности цинка являются хлороз и задержка роста.

В работах ряда исследователей указывается на слабую токсичность цинка для растений. Токсичные концентрации цинка вызывают ослабление роста и хлороз, снижают урожай зерновых, картофеля и свеклы. Многие растения обладают устойчивостью к избытку цинка в среде. В работе Е. И. Гончарук показано, что растения семейства крестоцветных и гвоздичных обладают способностью концентрировать цинк. Как отмечает К. Рейли, токсичные дозы цинка действуют негативно на желудочно-кишечный тракт человека, вызывают патологические изменения, связанные с дефицитом кальция.

С избыточным содержанием цинка выявлено в Беларуси 179 тыс. га сельскохозяйственных земель, в том числе в опасной

степени загрязнено элементом (более 16 мг/кг почвы) 39 тыс. га, или 0,5 %, главным образом в Гомельской, Минской и Могилевской областях. Наряду с загрязненными цинком в Беларуси большая часть сельскохозяйственных земель (68,4 % пахотных и 56,6 % улучшенных сенокосов и пастбищ) слабо обеспечены цинком (содержание Zn менее 3,0 мг/кг почвы) (табл. 12.4).

Таблица 12.4. Сельскохозяйственные земли Беларуси, загрязненные цинком, тыс. га

Область	Всего загрязнено	В том числе по содержанию Zn, мг/кг			
		10,1–16,0	16,1–30,0	30,1–50,0	Более 50
Брестская	35,1	34,4	0,7	—	—
Витебская	3,5	2,9	0,5	0,1	—
Гомельская	44,9	33,9	10,4	1,3	0,2
Гродненская	24,4	20,0	4,0	0,4	—
Минская	45,5	34,9	8,9	1,2	0,5
Могилевская	25,9	14,8	10,9	0,2	—
Всего по Беларуси	179,3	140,0	35,4	3,2	0,7

Кадмий — токсичный, тератогенный, канцерогенный тяжелый металл. Он негативно влияет на рост и развитие растений. Высокая токсичность кадмия объясняется его антагонизмом по отношению к цинку, т. е. кадмий способен замещать цинк в некоторых биохимических процессах и нарушать работу ферментов, связанных с дыханием, белковым обменом и другими физиологическими процессами.

Содержание кадмия в почвах Беларуси находится на уровне фона. Превышение фона до 2,5 раз отмечено локально на расстоянии до 3–5 км от крупных городов и достигает 1,0–1,2 мг почвы при ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) по содержанию валового кадмия в дерново-подзолистых суглинистых почвах более 0,6 мг, супесчаных более 0,4 мг и песчаных более 0,3 мг/кг.

Площадь почв в Беларуси от всех источников загрязнения свинцом в настоящее время ориентировочно оценивается в 100 тыс. га, кадмия — 45 тыс. га.

Как отмечает в своей работе Л. М. Кузнецова, при содержании кадмия в почве более 5 мг/кг наблюдается снижение урожая. По данным А. Клоке, Н. Schenke, загрязненные растения могут содержать более 400 мг/кг кадмия. Кадмий снижает количество кароти-

на и хлорофилла в растениях. У человека избыток кадмия вызывает анемию, все формы рака.

Свинец при повышенных концентрациях является опасным токсикантом глобального значения. Биологическая роль свинца довольно мало установлена. Он входит в состав некоторых биологически активных соединений. Токсичность свинца невысока вследствие малой растворимости его соединений и наличие в растениях системы инактивации данного элемента. Основная часть свинца депонируется в корнях, и только 1–2 % переходят в надземные органы. При высокой концентрации в почве свинец угнетает ростовые процессы растений, вызывает нарушения в пигментных комплексах и уменьшает содержание хлорофилла в тканях, витамина и провитамина А. При свинцовых отравлениях человека наблюдается поражение центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта, половой системы человека и животных. Летальная доза свинца для человека — 100 мг/кг.

Тяжелые металлы в минеральных удобрениях являются естественными примесями, содержащимися в агрорудах. Поэтому количество их в минеральных удобрениях зависит от исходного сырья и технологии переработки. Из химических элементов, содержащихся в фосфорных удобрениях, наиболее опасен кадмий, который является составной частью фосфорной руды. В зависимости от геологического происхождения и географического распространения фосфатные руды содержат разное количество кадмия, который переходит в удобрения, изготавливаемые из концентратов этих руд. В фосфатном сырье из России, которое используется в Республике Беларусь, содержание кадмия минимально, оно значительно ниже, чем в фосфоритах Марокко, США и тем более в фосфатном сырье из Сенегала (табл. 12.5).

Таблица 12.5. Среднее содержание кадмия в фосфатном сырье разных стран

Страна	P ₂ O ₅ , мг/кг	Cd, мг/кг
США	32,5	8
Марокко	31,7	22
Россия	39,4	1
Сенегал	33,0	75
Южная Африка	36,5	3
Сирия	30,6	8

Содержание примесей в фосфорсодержащих удобрениях, производимых в странах СНГ, приведено в табл. 12.6.

Таблица 12.6. Содержание примесей в фосфорсодержащих удобрениях, мг/кг (В. Г. Минеев и др.)

Завод, производящий удобрения	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Cd
Аммофос								
Воскресенский	250	3000	5,0	8,0	9,0	13,0	5,0	0,06
Кингисеппский	150	2500	7,5	9,8	28,0	38,0	5,5	0,65
Уваровский	250	5500	5,0	12,5	46,0	90,0	5,0	1,0
Череповецкий	204	5200	13,7	12,5	75,0	135,0	5,0	1,3
Нитроаммофоска								
Череповецкий	105	2500	11,0	10,0	15,0	36,0	10,0	0,1
Нововоскресенский	102	900	1,6	7,5	4,0	6,0	7,5	0,03

Минимальное содержание кадмия отмечено в аммофосе, произведенном Воскресенским заводом, а максимальное — Череповецким. Однако оно во всех удобрениях незначительно и не представляет опасности с точки зрения загрязнения окружающей среды.

Исследования по определению валового содержания тяжелых металлов в минеральных, органических и известковых удобрениях показали, что в аммонийной селитре в незначительных количествах содержится кадмий, медь, в несколько больших — цинк и свинец (табл. 12.7).

Таблица 12.7. Содержание тяжелых металлов в удобрениях и извести, г/т (Н. А. Черных, В. Ф. Ладонин)

Удобрение	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Двойной суперфосфат	3,70	39,0	48,0	14,4	29,0
Фосфоритная мука	5,40	16,0	183,0	27,0	—
Хлористый калий	3,90	14,0	11,0	3,6	21,0
Мочевина	—	1,3	6,0	0,8	—
Аммонийная селитра	0,20	18,0	7,1	1,0	8,0
Известковая мука	0,18	28,0	22,0	6,3	24,0
Навоз	0,20	4,0	112,0	22,0	7,2

Более высокое содержание кадмия в фосфорных удобрениях и хлористом калии, цинка — в навозе. Потенциальными загрязнителями окружающей среды считаются удобрения, содержащие более 8 мг/кг кадмия. Кадмий в фосфорных удобрениях, которые производятся в странах СНГ, содержится в незначительных количествах и не представляет опасности для окружающей среды.

Высокая концентрация кадмия отмечена в суперфосфате, произведенном в США (50–100 мг/кг). Среднее содержание тяжелых металлов в минеральных удобрениях приведено в табл. 12.8.

Таблица 12.8. Среднее содержание тяжелых металлов в минеральных удобрениях, г/т д. в. (В. Г. Минеев и др.)

Удобрения	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr
Азотные	51	63	1,23	21	6,8	0,38
Фосфорные	122	164	3,6	34	92	121
Калийные	0,4	20	1,05	28	9,1	0,89
Все минеральные	59	77	1,62	26	30	33

Как показали исследования ВИУА, кафедры агрохимии БГСХА, Института почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь, других научно-исследовательских учреждений, количество ТМ, поступающих в почву с минеральными и органическими удобрениями, заметно не меняет природных уровней содержания тяжелых металлов в почвах и не представляет опасности с точки зрения загрязнения ими. Экологически опасными могут быть фосфорные удобрения, полученные из сырья африканских стран (Марокко, Сенегал и др.), а также из фосфоритов США. Серьезного внимания заслуживают сточные воды, компосты из твердых бытовых отходов, отличающиеся повышенным содержанием ТМ.

Опасным загрязнителем тяжелыми металлами являются такие отходы промышленности, как фосфорогипс и пиритные огарки. Фосфорогипс на 1 кг содержит 42 мг Pb, 67,0 мг Zn, 49 мг Cu, 5 мг Cd, 9 мг Ni, 69 мг Cr, 130 мг As и 17 мг Hg. Пиритные огарки на 1 кг содержат 4500 мг Pb, 10000 мг Zn, 4000 мг Cu и 1500 мг As.

Загрязнение тяжелыми металлами, как показали исследования Института почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь, обычно наблюдается вокруг крупных промышленных городов рес-

публики, а в радиусе 1–2 км от них оно значительно превышает фоновое. Повышено содержание тяжелых металлов также в почвах хозяйств, использующих осадок городских сточных вод в качестве удобрения, вокруг взлетно-посадочных полос сельскохозяйственной авиации, в почве придорожных полос.

В настоящее время проводится обследование почв республики на содержание свинца, кобальта, цинка и меди. Почвенные образцы будут отбираться на сельскохозяйственных угодьях с содержанием P_2O_5 более 490 мг/кг почвы, вокруг промышленных центров и отдельно расположенных крупных предприятий, у животноводческих комплексов, в почве придорожных полос и на всех полях, где используются удобрения, приготовленные на основе осадков сточных вод и других промышленных отходов. В Республике Беларусь для оценки опасности загрязнения почв тяжелыми металлами и избыточного накопления их в растениеводческой продукции разработаны градации ориентировочно допустимых концентраций их в почвах.

Установить пределы безопасного содержания того или иного элемента в почве сложно. Уровень токсичности элементов зависит от гранулометрического состава почвы, ее кислотности, содержания гумуса, вида растений и т. д. Если культура снижает урожайность из-за присутствия в почве того или иного элемента на 5–10 %, то уровень его содержания в почве считается токсичным.

В ряде случаев на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, урожайность зерновых снижалась на 20–30 %, сахарной свеклы — на 35, бобовых — на 40, картофеля — на 47 %. По данным Н. А. Черных, В. Ф. Ладонина, гибель зерновых культур наблюдается при содержании кадмия 20 мг/кг, цинка — 500, свинца — 500, меди — 350 мг/кг почвы.

Для оценки уровня загрязнения почв и возможности выращивания на них сельскохозяйственной продукции используют значения предельно допустимых уровней (ПДУ) тяжелых металлов (табл. 12.9).

Предельно допустимые уровни (ПДУ) в дерново-подзолистых почвах зависят от pH_{KCl} и гранулометрического состава почв. При pH_{KCl} более 5,5 ПДУ подвижных форм для меди составляет на глинистых и суглинистых почвах 15,0 мг/кг, для песчаных — 10,0 мг/кг, а для цинка — 18 и 14 мг/кг соответственно.

Таблица 12.9. Предельно-допустимые уровни (ПДУ) цинка и меди в дерново-подзолистых почвах, мг/кг почвы

Группировка почв по содержанию тяжелых металлов	Глинистые и суглинистые	Супесчаные	Песчаные
<i>Валовое содержание</i>			
Цинк			
ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5
рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5
Медь			
ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5
рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5
<i>Подвижные формы (экстрагент 1 М НСl)</i>			
Цинк			
ПДУ рН > 5,5	18,0	16,0	14,0
рН < 5,5	15,0	14,0	12,0
Медь			
ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5	ПДУ рН > 5,5
рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5	рН < 5,5

В Беларуси для оценки опасности загрязнения почв тяжелыми металлами и избыточного поступления их в растениеводческую продукцию разработаны ориентировочно допустимые их концентрации в почве в зависимости гранулометрического состава (табл. 12.10).

Таблица 12.10. Градация дерново-подзолистых почв по содержанию валового и подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг

Группы по содержанию тяжелых металлов	Содержание, мг/кг почвы		
	Песчаные	Супесчаные	Суглинистые
1	2	3	4
<i>Валовое содержание</i>			
Cd			
Фоновое	0,07 и менее	0,09 и менее	0,12 и менее
Повышенное	0,08–0,20	0,10–0,30	0,13–0,40
Высокое	0,21–0,30	0,31–0,40	0,41–0,60
Очень высокое (ОДК)	Более 0,30	Более 0,40	Более 0,60
Pb			
Фоновое	7,0 и менее	10,0 и менее	15,0 и менее
Повышенное	7,1–15,0	10,1–25,0	15,1–30,0
Высокое	15,1–25,0	25,1–35,0	30,1–60,0
Очень высокое (ОДК)	Более 25,0	Более 35,0	Более 60,0

Окончание табл. 12.10

1	2	3	4
Cr			
Фоновое	18,0 и менее	25,0 и менее	50,0 и менее
Повышенное	18,1–50,0	25,1–75,0	50,1–125,0
Высокое	50,1–80,0	75,1–150,0	125,1–200,0
Очень высокое (ОДК)	Более 80,0	Более 150,0	Более 200,0
<i>Подвижные формы (экстрагент 1 М НСl)</i>			
Cd			
Фоновое	0,02 и менее	0,03 и менее	0,04 и менее
Повышенное	0,03–0,09	0,05–0,15	0,05–0,25
Высокое	0,10–0,20	0,16–0,30	0,25–0,40
Очень высокое (ОДК)	Более 0,20	Более 0,30	Более 0,40
Pb			
Фоновое	2,0 и менее	3,0 и менее	5,0 и менее
Повышенное	2,1–5,0	3,1–10,0	5,1–15,0
Высокое	5,1–10,0	10,1–15,0	15,0–25,0
Очень высокое (ОДК)	Более 10,0	Более 15,0	Более 25,0

Очень важно не подвергать людей риску заболеть от превышения содержания тяжелых металлов в продуктах питания. По данным ВОЗ, предельно допустимые поступления с продуктами питания свинца — 3 мг в неделю, кадмия — 0,4, ртути — 0,3 мг. Обычно эти нормы не превышаются. Предельно допустимые концентрации некоторых тяжелых металлов в продуктах питания приведены в табл. 12.11.

Таблица 12.11. Гигиенические нормативы качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов по содержанию тяжелых металлов, мг/кг

(постановление Минздрава Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 52)

Продукты питания	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть	Медь*	Цинк*
1	2	3	4	5	6	7
Зерно продовольственное (пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо, гречиха, рис, кукуруза, сорго)	0,5	0,2	0,10	0,03	10,0 15,0 (гречиха)	50,0

Окончание табл. 12.11

1	2	3	4	5	6	7
Семена зернобобовых (горох, фасоль, маш, чина, чечевица, нут, соя)	0,5	0,3	0,10	0,02	10,0	50,0
Крупа, толокно, хлопья	0,5	0,2	0,10	0,03	10,0 15,0 (гречиха)	50,0
Мука всех видов, в том числе для макаронных изделий	0,5 1,0 (соевая)	0,2 0,2 (соевая)	0,1 0,1 (соевая)	0,03 0,02 (соевая)	15,0 10,0 (гречиха)	30,0 50,0 (соевая)
Хлеб, булочные и сдобные изделия	0,35	0,15	0,07	0,015	5,0	25,0
Свежие и свежемороженые овощи, картофель, бахчевые, фрукты, ягоды, грибы	0,5 0,4 (ягоды, фрукты)	0,2 0,5 (грибы)	0,03 0,1 (грибы)	0,02 0,05 (грибы)	5,0 10,0 (грибы)	10,0 20,0 (грибы)

*СанПиН 11-63 РБ 98. — Минск, 2000.

Известкование способствует снижению накопления тяжелых металлов в 1,4–2,1 раза. Для известкования целесообразно использовать как традиционные мелиоранты (доломитовую муку), так и кальцийсодержащие отходы (дефекат сахарных заводов), карбонатный сапропель и т. д.

Увеличение гумусированности почв путем применения органических удобрений позволяет снизить поступление в растениеводческую продукцию цинка и меди в 1,7 и 1,4 раза соответственно. В качестве органических удобрений можно использовать навоз, компосты на его основе, измельченную солому. Максимальный результат дает внесение на известкованную почву навоза или компостов на его основе.

При сильном загрязнении почвы наиболее радикальным средством является снятие верхнего слоя почвы и замена его «чистой» почвой.

12.4. Приемы по предотвращению загрязнения окружающей среды удобрениями. Почвенно-агрохимический мониторинг

В настоящее время разработаны мероприятия по охране окружающей среде при использовании удобрений, к которым относятся организационные, агротехнические, биологические, химико-технологические, контролирующие.

Для предотвращения негативного влияния причин загрязнения окружающей среды удобрениями предлагаются следующие приемы. Организационные мероприятия направлены на организацию экологически безопасной перевозки, хранения и внесения удобрений. Необходим комплекс работ по дополнительному строительству и модернизации складских помещений РО «Агросервис». Одним из путей решения складских помещений может быть использование для хранения азотных и фосфорных удобрений специальных мягких контейнеров типа «Биг-бэг» с последующим их сепарированием на приспособленных площадках. Большая проводится работа по совершенствованию техники внесения удобрений, повышению качества работ, снижению непроизводительных потерь удобрений, химических мелиорантов и других агрохимических средств, совершенствуются технологии работы с удобрениями. К таким технологиям следует отнести, прежде всего, централизованного приготовления и внесения тукосмесей, контейнерную, перегрузочную технологию транспортировки и внесения удобрений с использованием высокопроизводительных перегрузчиков, дробного внесения удобрений (для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур) и технологию внутрпочвенного внесения удобрений. Для осуществления этих прогрессивных технологий промышленность уже частично поставляет сельскохозяйственную технику.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, следует руководствоваться следующими положениями.

Из агротехнических мероприятий необходимо применять научно обоснованную систему удобрения. С органическими удобрениями на 1 га севооборотной площади должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота, а в условиях орошения — 300 кг/га. В

хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо на корм скоту или в качестве зеленого удобрения вводить промежуточные культуры (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие их интенсивного использования растениями). Осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиванием соломы или зеленым удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется осенью и в весенне–летний период), что значительно сокращает потери.

Разработаны экологические ограничения на применение удобрений (табл. 12.12). Система удобрений, разработанная на ЭВМ для каждого хозяйства в Беларуси предусматривает ограничение максимальных доз азотных удобрений, а также экологические регламенты, предусматривающие максимальное поступление азота с органическими и минеральными удобрениями, ограничения на внесения фосфорных, калийных, микроудобрений и известкование.

Таблица 12.12. Экологические ограничения применения удобрений на дерново-подзолистых почвах

Ограничения	Почвы		
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные
1. Максимальное поступление азота с органическими и минеральными удобрениями, кг/га	250	200–250	160–180
2. Ограничения на внесение удобрений при содержании элементов в почве больше указанных значений, мг/кг почвы:			
P ₂ O ₅	400	300	250
K ₂ O	400	300	200
B	1	1	1
Cu	5	5	5
Zn	10	10	10
3. На известкование при pH KCl больше	6,7	6,2	5,8

Разработаны предельно допустимые дозы азотных удобрений для основных сельскохозяйственных культур. Для озимых зерновых культур на фоне 20–30 т/га органических удобрений максимальная допустимая годовая доза азота составляет 120 кг/га д. в.,

картофеля на фоне 60–70 т/га органических удобрений — 120 кг/га, сахарной свеклы на фоне 70–80 т/га органических удобрений — 150 кг/га, кормовой свеклы на фоне 75–100 т/га органических удобрений — 180 кг/га, кукурузы (зеленая масса) на фоне 60–70 т/га органических удобрений — 150 кг/га, капусты на фоне 70 т/га органических удобрений — 150 кг/га, огурцов на фоне 120 т/га органических удобрений — 90 кг/га, томатов на фоне 40 т/га органических удобрений — 90 кг/га, для лука-репки на фоне 40 т/га органических удобрений — 90 кг/га, зеленых овощных культур 60 кг/га, яровых зерновых культур — 120 кг/га и моркови — 90 кг/га. Желательно использовать почвенную и растительную диагностику питания растений, что позволит корректировать дозы азотных удобрений и регулировать состояние азотного режима на протяжении вегетации.

При возделывании зерновых культур важнейшим агрономическим мероприятием, предотвращающим потери удобрений и биогенных элементов почвы в окружающую среду, является освоение научно-обоснованных севооборотов. Зависимость между вымыванием питательных элементов и видом сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > многолетние травы.

Проблема качества природных вод находится сейчас в центре внимания научных и научно-технических учреждений почти всех стран мира, так как ухудшение качества природных вод принимает угрожающие размеры. Значительная часть биогенных элементов попадает в реки и озера со стоковыми водами, хотя в большинстве случаев смыв элементов поверхностными водами значительно меньше, чем в результате миграции по профилю почвы, особенно в районах с промывным режимом. Загрязнение природных вод биогенными элементами за счет удобрений и почвы и их эвтрофикация возникают прежде всего в тех случаях, когда нарушается агрономическая технология применения удобрений, не выполняется комплекс агротехнических мероприятий, в целом культура земледелия находится на низком уровне.

Для предотвращения загрязнения и эвтрофикации природных вод необходимо строго выполнять научно-обоснованные технологии применения удобрений с учетом оптимальных доз, соотношений, форм, сроков и способов их внесения в соответствии с био-

логическими требованиями растений, почвенно-климатическими условиями и уровнем планируемого урожая. Следует выполнять агрономические правила и санитарно-гигиенические нормы при накоплении, хранении и использовании различных видов органических удобрений, особенно навоза, полученного при бесподстилочном содержании скота. Важным является проведение комплекса мероприятий по предотвращению водной и ветровой эрозии: дифференцированная обработка почвы с учетом особенностей склона, запрещение вспашки вдоль склона, введение противоэрозионных севооборотов, залужение крутых склонов на кормовых угодьях.

Для предотвращения процесса антропогенной эвтрофикации и загрязнения вод токсическими элементами необходима очистка промышленных и бытовых отходов от излишков минеральных соединений азота и фосфора, тяжелых металлов и других веществ.

Внесение бесподстилочного навоза и животноводческих стоков от крупного рогатого скота и свиней вызывает интенсивное бактериальное загрязнение. Патогенные бактерии сохраняются в почве земледельческих полей орошения 4–5 месяцев. При внесении стоков методом дождевания по воздуху на расстояние до 400 м распространяются яйца гельминтов.

Применяемые органические удобрения должны быть обеззаражены. Для этого применяются биологические, химические и физические способы дезинфекции. Среди биологических способов используется длительное компостирование, биотермический метод, анаэробная термофильная ферментация. При химическом обеззараживании жидких удобрений применяется аммиак, формальдегид, хлор, озон.

Реже практикуются физические способы: высушивание, обработка высокими температурами, применение электромагнитных полей.

Значительное количество биогенных элементов теряется в окружающую среду вследствие несовершенства свойств и химического состава удобрений и различных удобрительных средств. Для этого используется химико-технологические мероприятия с целью устранения недостатков минеральных удобрений.

В настоящее время распространен прием капсулирования удобрений, покрытия гранул различными биоразлагаемыми поли-

мерами, элементарной серой. Важно получить удобрения с контролируемым освобождением питательных элементов, особенно азота, в процессе вегетации культур.

В Беларуси налажен выпуск медленнодействующих азотных удобрений: карбамид с гидрогуматом, сульфат аммония с защитным покрытием. Снижению экологической нагрузки обеспечивает создание удобрений с минимальным количеством тяжелых металлов и других сопутствующих элементов, а также использование химически нейтральных комплексных удобрений с хорошими физическими и механическими свойствами.

В связи с ориентацией растениеводства Беларуси на экономическую и экологическую целесообразность важное значение приобретают биологические мероприятия. Принципиальной сущностью нынешнего этапа сельскохозяйственного этапа является необходимость наращивания сельскохозяйственного производства в условиях сокращения потребления энергоресурсов.

Развитие земледелия и растениеводства в республике должно базироваться на стратегии адаптивной интенсификации, характеризующейся биологизацией и экологизацией интенсификационных процессов. В связи с этим необходимо более широкое использование биологического азота за счет расширения посевов бобовых культур, применение бактериальных удобрений для усиления симбиотической азотфиксации бобовых культур, а для зерновых и других небобовых культур — бактериальных удобрений на основе свободноживущих, ассоциативных азотфиксаторов и фосфатмобилизирующих бактерий. Их применение было рассмотрено в разделе 6.10. Бактериальные удобрения.

К биологическим мероприятиям относятся также возделывание многолетних трав, обеспечивающих сохранение почвенного плодородия. Посевы промежуточных культур позволяет сберечь в почве от потерь от 25 до 75 кг/га элементов питания. Биологические мероприятия включают адаптивную селекцию, направленную на выведение сортов меньше накапливающих нитратов, тяжелых металлов, радионуклидов, других токсикантов, способных расти на кислых и засоленных почвах, способных использовать фосфор из труднодоступных соединений почвы и т. д.

Существенным источником загрязнения атмосферы является газообразные потери азотных соединений из удобрений и почвы, а

также бессистемное использование органических удобрений, особенно бесподстилочного навоза и навозных стоков. Загрязнение атмосферы также возможно при нарушении условий выполнения технологий применения удобрений и химических мелиорантов, авиацимических работах, использование безводного аммиака и аммиачной воды и др. Предотвратить загрязнение воздуха в этом случае можно при высокой ответственности и профессиональном мастерстве работников сельского хозяйства, имеющих дело со средствами химизации.

Для снижения загрязнения воздуха токсичными газами (аммиаком, сероводородом и т. д.) бурты твердых органических удобрений при хранении необходимо накрывать слоем адсорбирующих материалов (торфом, опилками, соломой). При хранении бесподстилочного навоза, помета в открытых накопителях на поверхность следует добавлять перлитовую крошку, которая обладает высокой поглотительной способностью и на 90–96 % снижают загрязнения воздуха аммиаком, сероводородом, углекислым газом, метаном.

Агротехнической наукой хорошо изучены условия возможных газообразных потерь азота из удобрений и почвы. Из комплекса агрономических мероприятий, способствующих предотвращению попадания азота в окружающую среду, следует назвать определение оптимальных доз азотных удобрений под каждую культуру севооборота, правильные сроки их внесения, своевременная заделка в почву, выбор форм азотных удобрений с учетом их свойств, требований культуры, а также почвенно-климатических условий.

Потенциальным источником загрязнения почв сельхозугодий являются применяемые на удобрения отходы промышленности, осадки сточных вод, фосфогипс, а также сапропель и др. Их обычно применяют в высоких дозах, так как они содержат низкий процент биогенных элементов. В тоже время они содержат значительное количество тяжелых металлов и других элементов загрязнителей. Пиритные огарки содержат 40–63 % железа, 1–2 % — серы, 0,33–0,47 % — меди, 0,47–1,35 % — цинка, 0,32–0,58 % — свинца и другие тяжелые металлы. Использование пиритных огарков в высоких дозах (4–5 ц/га) в качестве медного удобрения приводит к загрязнению почвы свинцом, мышьяком и другими металлами, а следовательно, и к повышению их содержания в сельскохозяйственной продукции. Фосфогипс из апатитового концентрата в среднем со-

держит 28,3 % Ca, 55,5 % — SO_3 , 1,5 — P_2O и 1,8–2,4 % Sr. С фосфогипсом, который в зависимости от условий и целей использования применяется в дозах от 5 до 20 т/га попадает в почву от 100 до 400 кг Sr. Качество кормов в значительной мере определяется отношением в них Ca (г) и Sr (мг). Оптимальная величина его 160. Уменьшение указанного соотношения до 80 и ниже делает корм неполноценным. Рекомендуемые в Беларуси дозы (3–5 ц/га) фосфогипса под зерновые, рапс, клевер, кукурузу и другие культуры не представляют опасности с точки зрения нарушения оптимального соотношения в нормах кальция и стронция. При высоких дозах фосфогипса существует определенная опасность загрязнения растений фторидами.

Значительное загрязнение почв токсичными элементами возможно при использовании на удобрение орошения сточными водами, осадка сточных вод, компостов из твердых бытовых отходов городов. Их следует контролировать на содержание тяжелых металлов и других токсических веществ и применять только с разрешения санитарной и агрономической служб.

Республика Беларусь обладает большими запасами сапропеля. Ставится вопрос о широком использовании его на удобрение. Однако, как показали исследования, в нем может содержаться от 50 до 180 мг/кг сухой массы кадмия, а также другие тяжелые металлы и токсические соединения. Поэтому прежде чем использовать сапропель, его необходимо тщательно изучить на содержание тяжелых металлов и токсических соединений.

Важным условием не только сохранения, но и улучшения природной среды являются контролирующие мероприятия. Для комплексного решения экологических проблем необходимо проведение агроэкологического мониторинга.

Эффективное и безопасное применение удобрений невозможно без полного представления о процессах, происходящих в агроэкосистемах. Без полной информации о влиянии удобрений на окружающую среду нельзя разработать программу природоохранных мероприятий.

Многие ученые приходят к заключению, что экологические проблемы, порожденные интенсивным применением средств химизации в земледелии, носят глобальный характер. При бесконтрольном загрязнении ими почв, воздуха и водоемов токсические

соединения переходят по трофическим цепям и накапливаются в растениях, организме животных и человека. Это может привести к гибели целых видов растений, животных и даже человека, если не будут приняты необходимые меры.

Мониторинг — наблюдение, оценка, прогноз состояния окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека. В зависимости от уровня объектов исследований различают три ступени мониторинга: глобальный биосферный; региональный геосистемный, или природохозяйственный; и локальный биоэкологический.

Почвенно-агрохимический мониторинг относится к мониторингу экологического типа. Его объектами могут быть специально выбранные территории (полигонный мониторинг) и вся площадь, занятая в сельскохозяйственном производстве (сплошной мониторинг). Важнейший объект полигонного мониторинга — длительные опыты с удобрениями. Сплошной агрохимический мониторинг плодородия почв сельскохозяйственных предприятий проводится областными проектно-изыскательскими станциями химизации. Схема почвенно-агрохимического мониторинга приведена на рис. 12.1.

Информация, полученная в результате мониторинга, о влиянии удобрений, пестицидов и других химических средств на почву, растения, водные источники позволяет сформировать базу данных и разработать экологически безопасные системы удобрений в севообороте, обеспечивающие их высокую продуктивность и расширенное воспроизводство плодородия почв.

Химизация земледелия — мощное средство воздействия на агроценозы, взаимоотношения растений в условиях полевых севооборотов, жизнь почвы, соотношение различных организмов и их активность. Прогнозировать последствия применения химических средств на среду обитания людей можно с помощью глобального мониторинга, включая человека. Важно также продолжать изучение теоретических основ питания растений, гигиенических аспектов негативного воздействия загрязнителей на организм человека.

Контроль за качеством продукции в республике осуществляют областные лаборатории аналитического контроля (Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды), агрохимслужба (Минсельхозпрод) и центр гигиены, эпидемиологии и охраны общественного здоровья (Минздрав).

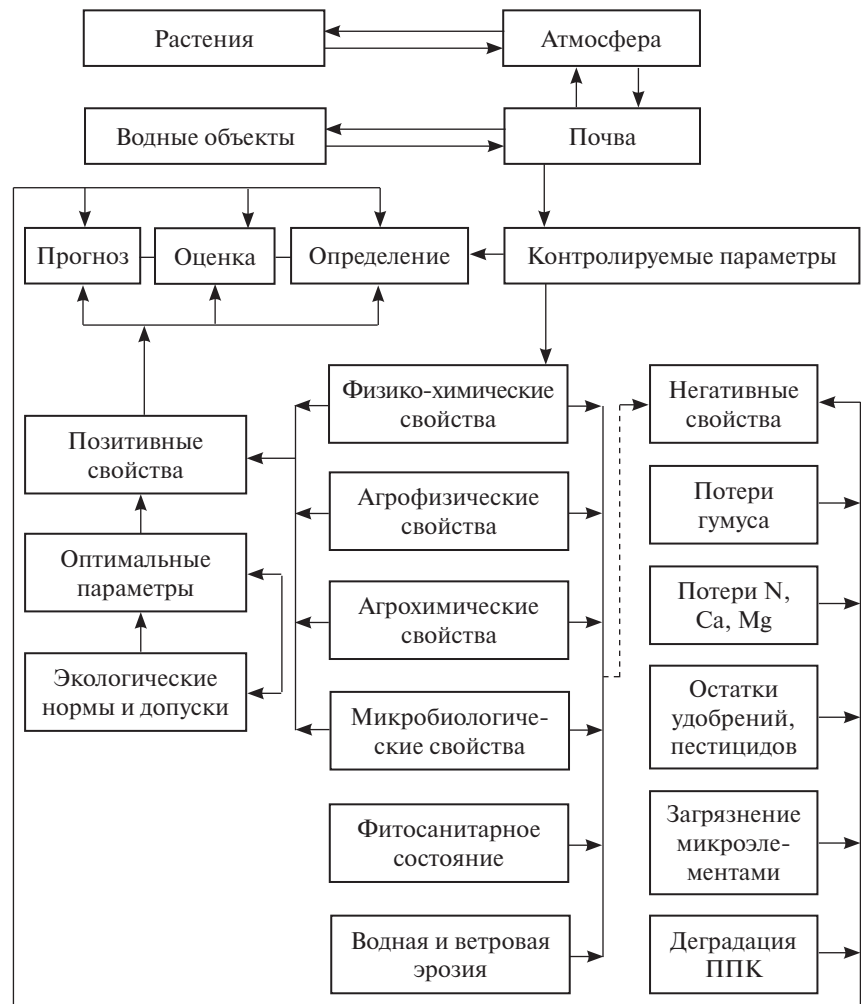


Рис. 12.1. Схема почвенно-агрохимического мониторинга (блок-компонент «Почва»)

Для осуществления контроля выбирают объекты, определяется содержание нитратов, тяжелых металлов и других токсических соединений в почве, продуктах растениеводства, животноводства, в водных объектах и атмосфере. Результаты контроля оцениваются с использованием нормативов допустимого содер-

жания (ПДК, МДУ) агрохимикатов в объектах окружающей среды, делается прогнозирование загрязнения объектов окружающей среды агрохимикатами и разрабатываются мероприятия по предотвращению загрязнения контролируемых объектов средствами химизации.

На основании агроэкологического мониторинга по влиянию удобрений на почву, растения, водные источники, атмосферу формируется единая база данных и разрабатываются экологически безопасные системы удобрений, обеспечивающие получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур заданного качества, поддерживающих экологическое равновесие агроландшафтов в условиях сокращения потребления энергоресурсов.

12.5. Научные основы органического земледелия и перспективы его использования в условиях Республики Беларусь

Проблемы рационального природопользования и обеспечения населения безопасными для здоровья продуктами питания являются особенно актуальными в современном обществе. Развитие органического (биологического, экологического) сельского хозяйства стало одним из способов уменьшения негативного воздействия сельского хозяйства на природу и человека. Производители органических продуктов питания предлагают альтернативные подходы к ведению хозяйства, исключающие риски для окружающей среды и потребителей.

Органическое сельское хозяйство — целостная система управления производством, которая содействует развитию и укреплению состояния агроэкосистемы, включая биологическое разнообразие, биологические циклы и биологическую активность почвы (Комиссия ФАО/ВОЗ «Кодекс Алиментариус»). В нем делается упор на использование природных ресурсов (минеральных продуктов и продуктов растительного происхождения) и на отказ от синтетических удобрений и пестицидов.

Ведение сельского хозяйства по правилам органического (биологического, альтернативного) земледелия предусматривает соблюдение требований и регламентов, исключающих применение

синтетических химических препаратов различного направления, основывается на параметрах и технологиях, обеспечивающих получение продукции, отвечающей экологическим и другим требованиям, предъявляемым к органической продукции.

Реализация принципов органического земледелия преимущественна в условиях малых форм хозяйствования.

Основной целью органического земледелия по сравнению с традиционным аграрным производством является более рациональное использование плодородия почв, способствующего улучшению биологического потенциала сельскохозяйственных культур, активизации деятельности почвенных микроорганизмов, увеличению поступлений в почву органического вещества, особенно в пожнивный осенний период, активно влияющего на плодородие пахотных земель и получение более качественной экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

Для реализации основной цели необходимо решать следующие задачи:

на основе научных исследований разработать методические рекомендации и технологические регламенты перехода от традиционного аграрного производства к органическому земледелию;

за счет широкого использования промежуточных культур, внесения качественных органических удобрений (навоза, компостов, сидератов, соломы) и других мероприятий снизить деградацию плодородия пахотных земель и создать условия для достижения бездефицитного и положительного баланса гумуса;

вместо синтетических минеральных удобрений и пестицидов, активно применять высококачественные органические удобрения и биологические препараты, положительно влияющие на плодородие почвы и развитие почвенной биоты (микроорганизмов и микрофауны);

создать условия экономически обоснованного добровольного перехода отдельных сельскохозяйственных кооперативов и крестьянских (фермерских) хозяйств на органическое земледелие по производству экологически чистых сельскохозяйственных продуктов питания, предусмотрев для них финансовую поддержку, снижение налогов, льготное кредитование и другие меры;

разработать с учетом местных условий схемы эколого-биологических севооборотов с предельным насыщением бобовыми

сидератами в качестве промежуточных культур и другими органическими удобрениями с широким использованием биопрепаратов, позволяющих получать без минеральных синтетических удобрений и средств химической защиты растений высокие урожаи сельскохозяйственных культур;

с целью более активного внедрения эколого-биологических севооборотов для руководителей, желающих перейти на органическое земледелие, организовать периодические консультативные семинары непосредственно на опытном поле с показом особенностей технологических процессов, применяемых в традиционном и биологическом земледелии, соответствующих проблем и путей их решения;

эколого-биологические севообороты должны быть ориентированы на создание здоровой, «живой» почвы, на сохранение и активизацию в почве природных процессов, на достижение максимально закрытого круговорота питательных веществ;

растительную массу промежуточных культур или их пожнивные остатки необходимо заделывать неглубоко в верхнем слое почвы (8–12 см), следует минимизировать обработку почвы;

задача органического земледелия заключается в том, чтобы обеспечить экологически чистыми продуктами питания в первую очередь детские профилактические дошкольные, школьные, оздоровительные и другие лечебные учреждения, а также дома инвалидов, сирот и престарелых;

повышение экспортного потенциала Беларуси и предоставление возможности для отечественного потребителя приобрести продукцию, полученную в условиях органического земледелия.

Тема органического земледелия очень актуальна в мире — все больше людей отдают предпочтение экологически чистым продуктам питания. В 1972 г. в Версале была основана Международная федерация органического сельскохозяйственного движения (IFOAM), поставившая своей целью распространение информации и внедрение органического сельского хозяйства во всех странах мира. В 2013 г. в IFOAM насчитывалось 732 филиала в 114 странах. С начала 1990-х гг. мировые рынки, связанные с органическим сельским хозяйством, растут примерно на 20 % ежегодно. Вместе с тем следует учитывать, что органическое сельское хозяйство — это стремительно развивающееся направ-

ление бизнеса. Мировые продажи органической продукции за последние десять лет выросли в десятки раз. В странах Европы под органическими культурами занято более 10 % всех сельскохозяйственных земель.

По мнению IFOAM методы органического сельскохозяйственного производства основываются на следующих принципах:

1. *Принцип здоровья*: роль органического сельского хозяйства, будь то в производстве, переработке, распределении или потреблении сельскохозяйственной продукции, заключается в сохранении и улучшении здоровья экосистем и организмов — от самых мелких, живущих в почве, до человека. В связи с этим при таком ведении сельскохозяйственного производства необходимо избегать применения удобрений, пестицидов, ветеринарных препаратов и пищевых добавок, которые могут отрицательно повлиять на состояние здоровья.

2. *Принцип экологии*: органическое сельское хозяйство должно основываться на живых экологических системах и циклах, работать с ними, моделировать их и способствовать их сохранению. Органическое производство должно быть адаптировано к местным условиям, экологии, культуре и масштабу. Уменьшение вносимых ресурсов благодаря повторному использованию, а также ресурсосберегающему применению материалов и энергии, будет способствовать улучшению качества окружающей среды и сбережет ресурсы.

3. *Принцип справедливости*: этот принцип подчеркивает, что лица, связанные с органическим сельским хозяйством, должны строить свои отношения с другими людьми таким образом, чтобы обеспечить справедливость на всех уровнях и в отношении всех сторон — фермеров, рабочих, переработчиков, распространителей, торговцев и потребителей. Также в соответствии с этим принципом для жизни животных должны быть созданы такие условия и возможности, которые соответствуют их физиологии, образу жизни в естественных условиях и благополучию. Природные и экологические ресурсы, используемые для производства и потребления, должны расходоваться социально и экологически справедливым образом и находиться в доверительном управлении во благо будущих поколений. Принцип справедливости требует, чтобы системы производства, распределения и торговли были открытыми, а также

учитывали интересы всех сторон и отвечали за реальные экологические и социальные издержки.

4. *Принцип заботы*: этот принцип указывает, что осторожность и ответственность — это ключевые проблемные вопросы, которые необходимо решать при осуществлении выбора в отношении управления, развития и технологии в органическом сельском хозяйстве. Для обеспечения здоровья, безопасности и экологической целесообразности органического сельского хозяйства нужна наука. Однако она должна учитывать действенные решения, полученные из практических наработок, накопленных традиционных и местных знаний, и не допускать значительных рисков посредством внедрения надлежащих технологий и отказа от применения технологий с непредсказуемыми последствиями, таких как генная инженерия.

Фундаментальные исследования, проведенные Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO), Научно-исследовательским институтом органического земледелия (FiBL) и организацией Organic Monitor, говорят о том, что сегмент органической продукции несет в себе огромный потенциал.

Глобальные данные FiBL по органическому земледелию, опубликованные в 2017 году, показывают, что наблюдавшаяся в последние годы положительная тенденция продолжается: потребительский спрос растет. Больше фермеров во всем мире стало заниматься выращиванием органических продуктов, больше земель сертифицировано как органические (рис. 12.2).

В настоящее время 186 стран сообщают о своей деятельности по органическому сельскому хозяйству и 103 из них имеют собственные законы в сфере производства и оборота органической продукции. В мире насчитывается более 2,4 млн органических производителей. Под органическим производством занято 71,5 млн га, что составляет около 1,5 % мировой площади сельскохозяйственных земель.

Более 10 % сельскохозяйственных угодий считались органическими в 11 странах. Австралия — страна с крупнейшим органическим сельскохозяйственным производством (22,7 млн га, 97 % этой территории, используется для выпаса скота), за которой следуют Аргентина (3,1 млн га) и Соединенные Штаты Америки (2,0 млн га) (рис. 12.3).

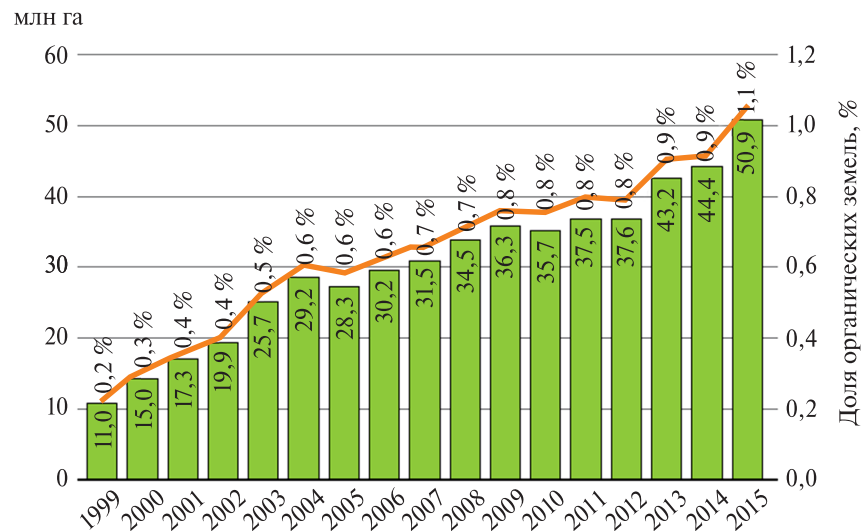


Рис. 12.2. Площадь земель под органическим производством и его доля в сельском хозяйстве (Источник: исследования FiBL, IFOAM и SOEL, 1999–2017 гг.)

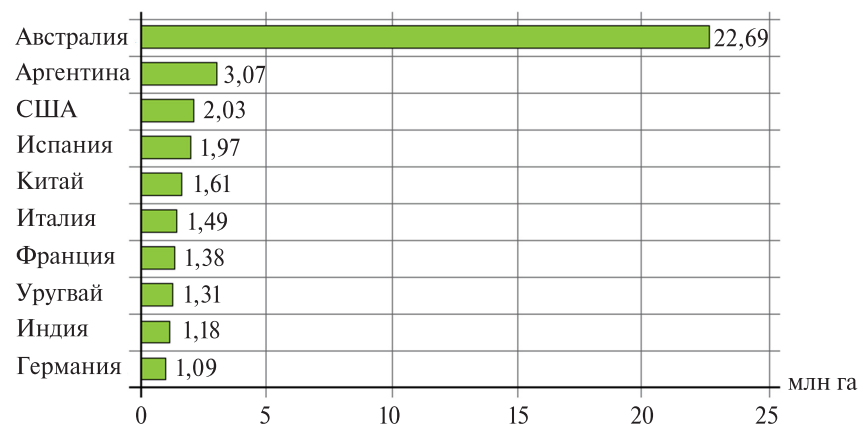


Рис. 12.3. Страны с самыми большими площадями земель с органическим сельским хозяйством (Источник: исследования FiBL, 2017 г.)

Наряду с привлекательностью органического земледелия, оно имеет и ряд серьезных недостатков, из-за которых эта система не

получила широкого распространения даже в западноевропейских странах. Наиболее важными из них являются следующие:

- 1) урожайность возделываемых культур ниже, чем при интенсивной системе земледелия;
- 2) вследствие несбалансированного минерального питания ухудшается качество растениеводческой продукции;
- 3) цены на продукцию органического земледелия значительно выше цен на обычную продукцию.

Тренд перехода к органическому сельскохозяйственному производству быстро распространяется на постсоветском пространстве, в том числе и при содействии FAO.

Органическое земледелие открывает новые перспективы для многих стран мира, в том числе и для Республики Беларусь, где это направление сельского хозяйства развивается.

Развитие органического сельского хозяйства полностью отвечает стратегии устойчивого развития Беларуси, способствует обеспечению продовольственной безопасности республики на основе стимулирования кооперативных, фермерских и индивидуальных хозяйств, применения различных форм хозяйствования и использования технологии, позволяющей сохранить природную среду и увеличить производство органической продукции, в том числе и на экспорт.

В 2018 году Республика Беларусь впервые вошла в группу стран, где есть законодательство, регламентирующее деятельность в области органического сельского хозяйства. По данным справочника World of Organic Agriculture-2018, к органическим относятся 2747 га белорусских некультивируемых земель. Около 100 из них используются для выращивания ягод, остальные — грибов. Однако эти данные, по мнению отечественных специалистов, далеко не полные.

В настоящее время производством органической продукции в Республике Беларусь занимается порядка 30 субъектов хозяйствования, включая крестьянские (фермерские) хозяйства, личные подсобные хозяйства граждан, сельскохозяйственные и другие субъекты Брестской, Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областей.

Согласно Доктрине национальной продовольственной безопасности Беларуси, до 2030 года планируемый рост доли сельскохозяйственных земель, используемых для получения органической

продукции, должен вырасти до 3 процентов от общей площади и составить 253,8 тысячи гектаров. Кроме того, насыщение внутреннего рынка качественными продуктами питания отечественного производства, в том числе и органическими, рассматривается как один из важнейших критериев развития национальной продовольственной безопасности.

Рациональное внесение питательных веществ в виде удобрений является важным условием повышения урожайности растений и сохранения почвенного плодородия. Особое значение это приобретает в органическом земледелии. Для грамотного построения системы удобрения в органическом сельском хозяйстве необходимо учитывать:

- поступление питательных веществ в растения в различные периоды роста;
- вынос питательных веществ урожаем сельскохозяйственных культур;
- использование питательных веществ растениями из почвы;
- чередование культур;
- влияние пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур на питательный режим почвы;
- наличие и возможность использования органических удобрений;
- способ заделки органических удобрений;
- усвоение растениями питательных веществ из органических удобрений;
- степень засоренности;
- почвенно-климатические условия.

В экологическом земледелии допускается использование следующих удобрений и вспомогательных почвенных веществ (в том числе органических удобрений):

- подстилочный навоз;
- высушенный подстилочный навоз и сухой птичий помет;
- компостированные птичьи испражнения, в том числе птичий помет и компостированный навоз;
- жидкие испражнения животного происхождения (навозная масса, навозная жижа и т. п.);
- компостированные или ферментированные домашние отходы;

- торф (с некоторыми ограничениями в применении);
- глинистые минералы (например, перлит, вермикулит и др.);
- отходы выращивания грибов;
- испражнения червей (вермикомпост) и насекомых;
- гуано;
- компост из растительных материалов или ферментированная смесь растительных материалов;
 - продукты и субпродукты животного происхождения (кровавая мука, мука из копыт, мука из рогов, костяная мука, рыбная мука, сушеное молотое мясо, мука из волос, шкурки и кожи, шерсть, мех, волосы);
 - молочные продукты;
 - продукты и субпродукты растительного происхождения для подкормки растений (например, мука из масличных жмыхов, шелуха какао, солодовые ростки и др.);
 - морские водоросли и продукты из них;
 - опилки и деревянные стружки;
 - компост из коры деревьев;
 - древесная зола;
 - тонко помолотый фосфорит;
 - фосфорнокислый глинистый карбонат;
 - основные шлаки;
 - сырая калийная соль (в частности, сильвинит и др.);
 - калийный сульфат, который может содержать магниевые соли;
 - спиртовая барда и ее экстракт;
 - природный известняк;
 - магнезит;
 - сульфат магния (например, кизерит);
 - раствор хлористого кальция;
 - сульфат кальция (природный гипс);
 - сера;
 - измельченные агрономические руды;
 - микроэлементы (бор, кобальт, медь, железо, марганец, молибден, цинк);
 - хлорид натрия;
 - отходы сахароварения (дефекат).

Питательные вещества также попадают в почву с атмосферными осадками и после разрушения пород и минералов.

На базе РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, РУП «Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси» и РУП «Институт защиты растений» в течение 5 лет проводились полевые опыты по установлению сравнительной эффективности возделывания культур в традиционной и органической системах земледелия.

Научные исследования проводились на высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в севообороте: овес + люпин (сидерат) – картофель + озимая рожь (сидерат) – гречиха – кабачок.

В органической системе земледелия измельчали солому возделываемых культур, высевали сидеральные культуры и на их фоне вносили полуперепревший подстилочный навоз, вермикомпост, полифунгур (ферментированный птичий помет), бактериальные удобрения и биопрепараты. Защиту от болезней и вредителей проводили биопестицидами, выпускаемыми Институтом микробиологии НАН Беларуси.

При возделывании картофеля, гречихи и кабачка в органической системе земледелия достоверную прибавку урожая от применения удобрений на фоне запашки соломы и сидеральной массы люпина обеспечило только действие и последствие подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га.

В целом урожайность картофеля при органической системе земледелия была на 29 % ниже, чем при традиционной с органоминеральной системой удобрения (подстилочный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га + N₉₀P₃₀K₅₀). Гречиха при возделывании в органической системе снизила урожайность в среднем на 30% по сравнению с традиционной. Урожайность кабачка при возделывании в органической системе земледелия была ниже в среднем на 46 % по сравнению с традиционной системой земледелия.

Максимальное содержание белка в клубнях картофеля (10,8 %) и в зерне гречихи (12,7 %) отмечено при традиционной системе земледелия. При органической системе земледелия в зависимости от удобрения содержание белка было в клубнях на уровне 7,2–8,1 %, зерне — 9,1–12,6 %. Содержание всех незаменимых аминокислот в клубнях картофеля и зерне гречихи имело тенденцию к снижению при органической системе земледелия по сравнению с органоминеральной системой удобрения.

При органической системе земледелия содержание нитратов в клубнях картофеля было в среднем на 42 % ниже, в плодах кабачков — на 35 % ниже, чем при органоминеральной системе удобрения.

Содержание крахмала в клубнях при органоминеральной системе удобрения было на уровне 13,5 %, в блоке с органической системой земледелия было выше — 13,7–15,9 %.

Засоренность посевов при органической системе возделывания в среднем была в 2,4 раза выше, чем в блоках с химической защитой посевов. Остаточных количеств пестицидов в урожае в блоках с химической защитой не обнаружили.

В целом анализ различных публикаций показывает, что основным преимуществом органического земледелия является то, что его реализация в значительной степени соответствует основным требованиям охраны окружающей среды за счет отказа от пестицидов и минеральных удобрений. При этом органическое земледелие не отвечает принципам высокоэффективного производства сельскохозяйственной продукции, так как для производства одного и того же количества продукции требуется почти двойное количество земельной площади, ресурс которой ограничен.

Использование в сельскохозяйственном производстве минеральных удобрений, пестицидов и технологий генной инженерии направлено на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в целях обеспечения роста производства продуктов питания и их удешевления.

Исходя из требований устойчивого развития сельского хозяйства, по экологическим и экономическим причинам полный переход к органическому земледелию не может быть приемлемым направлением развития сельского хозяйства.

Литература

Агрохимия. Практикум: учеб. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, С. П. Кукреша. — Минск: ИВЦ Минфина, 2010.

Агрохимия: учеб. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. — Минск: РИПО, 2011.

Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. — Минск: ИВЦ Минфина, 2013.

Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учеб.-метод. пособие / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура; под ред. И. Р. Вильдфлуша. — Горки: БГСХА, 2019.

Агрохимия. Лабораторный практикум: учеб. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. — Минск: ИВЦ Минфина, 2020.

Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. — Минск: Беларус. навука, 2011.

Вильдфлуш, И. Р. Фосфор в почвах и земледелии Беларуси: монография / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. — Минск: БИТ «Хата», 1999.

Городний, Н. Н. Агрохимия: учебник / Н. Н. Городний. — 4-е изд., перераб. и доп. — Киев: Аристей, 2008.

Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. — М.: МГУ, изд-во Колос, 2004.

Муравин, Э. А. Агрохимия: учебник / Э. А. Муравин. — М.: Колос, 2003.

Новикова, Н. Е. Минеральное питание растений и применение удобрений: учеб. пособие / Н. Е. Новикова, Н. Е. Самсонова. — Орел: изд-во Орел ГАА, 2008.

Рациональное применение удобрений: учеб. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. — Горки, 2002.

Система применения удобрений: учебник / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. — Минск: ИВЦ Минфина, 2016.

Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. — Минск: Белорусская наука, 2007.

Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. — Минск: ИВЦ Минфина, 2021.

Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур: монография / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. — Минск: Технопринт, 2005.

Фатеев, А. И. Основы применения микроудобрений / А. И. Фатеев, М. А. Захарова. — Харьков: КП «Типография №13», 2005.

Цыганов, А. Р. Биофизические основы рациональных способов внесения минеральных удобрений: монография / А. Р. Цыганов, А. М. Гордеев, И. Р. Вильдфлуш. — Горки: БГСХА, 2006.

Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко; под ред. Б. А. Ягодина. — М.: Колос, 2002.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. АГРОХИМИЯ — НАУКА О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ	6
1.1. Предмет и методы агрохимии, взаимосвязь ее с другими науками агрономическими и биологическими	6
1.2. История развития агрохимических знаний. Роль отечественных и зарубежных ученых в развитии агрохимии	13
1.3. Агрохимия как научная основа химизации земледелия. Значение удобрений и их производство в мире и Беларуси. Достижения современной агрохимии и передовой практики в Беларуси и за рубежом	18
Глава 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И МЕТОДЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	33
2.1. Химический состав растений	33
2.2. Питание растений и методы его регулирования	46
2.2.1. Корневая система растений. Механизм корневого питания ...	47
2.2.2. Избирательное поглощение ионов растениями, физиологическая реакция солей (удобрений)	58
2.2.3. Влияние условий внешней среды и микроорганизмов на поглощение растениями питательных элементов	59
2.2.4. Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста	63
2.3. Диагностика питания растений	65
2.3.1. Значение и виды диагностики питания растений	65
2.3.2. Почвенно-растительная диагностика азотного питания зерновых культур	70
2.3.3. Переносные лаборатории для диагностики питания растений	74
2.3.4. Листовая диагностика плодовых и ягодных культур	76
Глава 3. СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ	78
3.1. Состав и свойства минеральной и органической частей почвы ...	80

3.1.1. Минеральная часть почвы.....	81
3.1.2. Органическая часть почвы.....	87
3.2. Поглощительная способность почвы.....	93
3.3. Реакция и буферные свойства почвы.....	98
3.4. Агрохимическая характеристика почв Беларуси и пути по- вышения их плодородия.....	104
3.5. Оптимизация плодородия почвы.....	124
Глава 4. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВЫ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ.....	129
4.1. Значение и отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию. Значение кальция и магния в жиз- ни растений.....	129
4.2. Влияние известковых удобрений на свойства, питательный режим почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.....	135
4.3. Формы известковых удобрений.....	141
4.4. Дозы, сроки и способы внесения извести.....	149
Глава 5. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ.....	162
5.1. Классификация и свойства минеральных удобрений.....	162
5.2. Азотные удобрения.....	165
5.2.1. Значение азота для растений, содержание и превраще- ние азота в растениях.....	165
5.2.2. Содержание и превращение азота в почве.....	171
5.2.3. Значение биологического азота, круговорот и баланс азота в земледелии.....	179
5.2.4. Классификация, получение, свойства и особенности применения азотных удобрений.....	183
5.2.5. Способы повышения эффективности азотных удобрений... ..	198
5.3. Фосфорные удобрения.....	205
5.3.1. Физиологическая роль фосфора и его источники пита- ния растений.....	205
5.3.2. Содержание, формы соединений фосфора в почве, кру- говорот и баланс его в земледелии.....	210
5.3.3. Сырье для производства, получение, состав, свойства и применение фосфорных удобрений.....	218
5.3.4. Новые и перспективные формы фосфорных удобрений... ..	223
5.3.5. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой.....	224
5.3.6. Приемы рационального использования фосфорных удобрений.....	227
5.4. Калийные удобрения.....	231
5.4.1. Роль калия в жизни растений, баланс и круговорот его в земледелии.....	231

5.4.2. Содержание и формы соединений калия в почве.....	237
5.4.3. Месторождения калийных солей, способы получения, ассортимент, состав и свойства калийных удобрений.....	241
5.4.4. Взаимодействие калийных удобрений с почвой.....	245
5.4.5. Приемы рационального применения калийных удобрений... ..	246
5.5. Серосодержащие удобрения.....	251
5.5.1. Сера и ее роль в жизни растений.....	251
5.5.2. Применение серосодержащих удобрений.....	254
5.6. Микроудобрения.....	258
5.6.1. Значение микроэлементов.....	258
5.6.2. Борные удобрения.....	265
5.6.3. Медные удобрения.....	272
5.6.4. Цинковые удобрения.....	276
5.6.5. Молибденовые удобрения.....	278
5.6.6. Кобальтовые удобрения.....	280
5.6.7. Марганцевые удобрения.....	281
5.6.8. Йодсодержащие удобрения.....	284
5.6.9. Жидкие комплексные удобрения с микроэлементами.....	285
5.6.10. Способы применения микроудобрений.....	286
5.7. Комплексные удобрения.....	289
Глава 6. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ.....	298
6.1. Органические удобрения, их виды и эффективное исполь- зование.....	298
6.2. Дозы и сроки применения органических удобрений.....	305
6.3. Подстилочный навоз.....	309
6.4. Бесподстилочный навоз.....	321
6.5. Птичий помет.....	327
6.6. Эффлюент.....	330
6.7. Торф.....	331
6.8. Компосты.....	333
6.8.1. Торфонавозные, торфожижевые, торфопометные, сме- шанные и другие.....	333
6.8.2. Вермикомпост (биогумус).....	339
6.9. Сапропель.....	340
6.10. Зеленое удобрение.....	342
6.11. Солома.....	345
6.12. Бактериальные удобрения.....	351
Глава 7. ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ, ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ.....	355
7.1. Прием и хранение минеральных удобрений на базах район- ных объединений «Райагропромсервис» и в хозяйствах.....	355

7.2. Подготовка минеральных удобрений к внесению.....	362
7.3. Технология внесения известковых удобрений, технологические схемы и машины для внесения.....	364
7.4. Технология транспортировки и внесения твердых и жидких минеральных удобрений.....	366
7.5. Технология внесения органических удобрений.....	370
7.6. Техника безопасности при транспортировке, хранении и внесении удобрений.....	371
Глава 8. СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ.....	374
8.1. Основные принципы построения системы удобрения.....	374
8.2. Определение доз минеральных удобрений.....	377
8.2.1. Физиологические основы определения потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях.....	377
8.2.2. Факторы, учитываемые при определении доз удобрений ...	386
8.2.3. Методы расчета доз минеральных удобрений.....	391
8.3. Разработка планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры на ЭВМ.....	393
8.4. Баланс гумуса и элементов питания в севообороте.....	399
8.5. Приемы, сроки и способы внесения удобрений.....	415
Глава 9. УДОБРЕНИЕ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	424
9.1. Зерновые, зернобобовые, крупяные культуры.....	424
9.1.1. Озимые зерновые культуры.....	424
9.1.2. Яровые зерновые культуры.....	438
9.1.3. Зернобобовые культуры.....	442
9.1.4. Гречиха.....	449
9.1.5. Просо.....	451
9.2. Технические культуры.....	454
9.2.1. Лен-долгунец.....	454
9.2.2. Лен масличный.....	459
9.2.3. Сахарная свекла.....	460
9.2.4. Озимый и яровой рапс.....	462
9.3. Кормовые культуры.....	466
9.3.1. Удобрение многолетних трав (клевер, люцерна, клеверо-злаковые смеси).....	466
9.3.2. Кукуруза.....	468
9.3.3. Однолетние травы.....	470
9.3.4. Кормовая свекла.....	471
9.4. Удобрения сенокосов и пастбищ.....	473
9.5. Картофель.....	475
9.6. Удобрение плодовых и ягодных культур.....	478

9.6.1. Особенности питания плодовых и ягодных культур.....	479
9.6.2. Удобрение плодовых и ягодных питомников.....	484
9.6.3. Подготовка почвы и внесение удобрений при посадке сада и ягодников.....	486
9.6.4. Удобрение молодого и плодоносящего сада.....	489
9.6.5. Удобрение ягодных культур.....	496
9.7. Удобрение овощных культур.....	499
9.8. Особенности удобрения торфяных почв.....	509
9.9. Эффективность и энергосбережение при применении удобрений.....	512
Глава 10. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ.....	522
10.1. Поведение радионуклидов в почвах и поступление их в растения.....	524
10.2. Приемы снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию.....	530
Глава 11. АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА.....	542
11.1. История развития агрохимической службы.....	542
11.2. Структура и задачи агрохимической службы Республики Беларусь.....	544
Глава 12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ПРИЕМЫ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	549
12.1. Экологическая оценка агрохимических средств и их влияние на компоненты окружающей среды.....	549
12.2. Контроль за содержанием нитратов в растениеводческой продукции.....	557
12.3. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и способы снижения их накопления в растениеводческой продукции.....	561
12.4. Приемы по предотвращению загрязнения окружающей среды удобрениями. Почвенно-агрохимический мониторинг.....	573
12.5. Научные основы органического земледелия и перспективы его использования в условиях Республики Беларусь.....	582
Литература.....	593

Учебное издание

Вильдфлуш Игорь Робертович,
Воробьев Вадим Борисович,
Лапа Виталий Витальевич и др.

АГРОХИМИЯ

Учебник

Редактор *О. А. Соусь*
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*
Дизайн обложки *Н. П. Засулевич*

Подписано в печать 2023. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ № .

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельства о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.