МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура

АГРОХИМИЯ

УДОБРЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования,
обучающихся по специальностям
1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение,
1-74 02 01 Агрономия, 1-74 02 02 Селекция и семеноводство*

Горки
БГСХА
2019

УДК [63:64]:631.8:631.5(075.8)
ББК 40.40я7
В46

Рекомендовано методической комиссией агроэкологического факультета 22.10.2018 (протокол № 2)
и Научно-методическим советом БГСХА 31.10.2018 (протокол № 2)

Авторы:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *И. Р. Вильдфлуш*;
академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук,
профессор *В. В. Лапа*; кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент *О. И. Мишура*

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

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, доцент *Н. Н. Цыбулько*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. М. Мижуй*

Вильдфлуш, И. Р.

В46 Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии : учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки : БГСХА, 2019. – 405 с.

ISBN 978-985-467-934-1.

В пособии рассмотрены минеральные, органические и бактериальные удобрения, свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений, система удобрения основных сельскохозяйственных культур, влияние удобрений на качество урожая, экологические проблемы применения их.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение, 1-74 02 01 Агрономия. Может быть использовано специалистами сельскохозяйственных предприятий Беларуси, аспирантами, магистрантами, слушателями курсов повышения квалификации и переподготовки кадров.

УДК [63:64]:631.8:631.5(075.8)
ББК 40.40я7

ISBN 978-985-467-934-1

© УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2019

ВВЕДЕНИЕ

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 энерговооруженности обеспечили значительное повышение производительности 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 вероятна вы-

сокая окупаемость затрат прибавкой урожая с минимальным риском загрязнения окружающей среды. На всей остальной площади сельскохозяйственных угодий предусматривается бездефицитный баланс гумуса и питательных элементов. Для получения планируемой продуктивности растениеводческой сельскохозяйственной продукции на уровне 50 ц/га к. ед. необходимо применение 12 т органических удобрений на 1 га пашни и минеральных удобрений на уровне 260–280 кг д. в.

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.

1. ЗНАЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ИХ МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

С 1950 по 1999 г. количество «едоков» на планете увеличилось в два с лишним раза и составило 6 млрд., а в 2012 г. – 7 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 с 1 га 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 урожаев в XX в. является следствием применения удобрений. Он отмечал, что одним из наиболее важных факторов, ограничивающих урожай сельскохозяйственных культур в мире и в следующем столетии, будет плодородие почвы.

В развивающихся странах применение удобрений с 60-х гг. до конца XX в. увеличилось почти в 15 раз и составило 140–160 кг/га NPK, за это время валовые сборы зерна возросли с 310 до 980 млн. т, т. е. утроились.

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/га, картофеля – на 20 кг/га и сахарной свеклы – на 30 кг/га. Внесение 1 т органических удобрений дает прибавку 15–25 кг зерна, 105 кг картофеля, 125 кг сахарной свек-

лы, 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. В качестве одного из таких способов рассматривается отказ от применения минеральных удобрений из-за возможного негативного влияния на качество растениеводческой продукции и использование только органических удобрений.

По заданию ФАО анализировались последствия перехода на органическое (альтернативное) земледелие. Опыты показали, что урожайность зерновых в этом случае понизится на 10–20 %, картофеля и сахарной свеклы – на 35 %. Пока нет неопровержимых данных и о том, что при альтернативном земледелии улучшается качество продукции.

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, 1 047 тыс. т P_2O_5 и 515 тыс. т K_2O, а в 1959–1960 гг. – 9 537, 9 747 и 8 128 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.

После распада СССР в 1991 г. экономический спад охватил страны Восточной Европы и республики бывшего Советского Союза.

В большинстве стран северной и северо-западной части Европы потребление удобрений интенсивно нарастало до 70-х гг. в основном за счет использования фосфорных и калийных удобрений, что способствовало существенному улучшению обеспеченности почв фосфором и калием. В таких развитых европейских странах, как Нидерланды, Финляндия, Швеция, ФРГ, а также Япония, объемы применения фосфорных удобрений в основном стабилизировались уже в 1983–1985 гг.

В последнее время использование фосфорных удобрений в западноевропейских странах снизилось, что обусловлено главным образом уменьшением потребности в них. Внесение на протяжении длительного времени высоких доз фосфорных удобрений и навоза привело к накоплению в почвах фосфатов и повысило обеспеченность доступным фосфором. В результате в Нидерландах, Германии, Швеции, Финляндии и других странах почвы со средней и высокой обеспеченностью фосфором занимают около 80–90 % сельскохозяйственных земель. При поддерживающей системе применения удобрений на почвах средне- и высокообеспеченных элементами питания потребность в фосфорных удобрениях снижается.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур, воспроизводство и рациональное использование плодородия почв невозможно без научно обоснованного разумного использования агрохимических средств. Некоторые политики, в том числе и от науки, небезуспешно убеждают во вреде минеральных удобрений и пестицидов для человека и окружающей среды, хотя самые развитые и благополучные страны используют их в наибольших количествах (например, Япония – страна долгожителей).

Основные проблемы экологического неблагополучия в АПК связаны не столько с химическими загрязнениями, сколько с преобладанием экстенсивного хозяйствования и недостаточным применением удобрений и других средств химизации. Многочисленные исследования в длительных стационарных опытах показали, что удобрения – основной фактор получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, улучшения агрохимических, физико-химических, физических и иных свойств почвы. Развитые страны это поняли давно, и у них стоит проблема не нехватки продуктов питания, а, наоборот, имеет место их перепроизводство.

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 и к 2021 г. достигнет 199 млн. т питательных веществ. В странах ЕАЭС с 2012 по 2016 г. производство минеральных удобрений увеличилось на 19 % и составило 28 млн. т д. в.

По объему производства и применения удобрений на первом месте находится Китай, который производит 27 582 тыс. т минеральных удобрений в год и применяет 36 500 тыс. т. На втором месте по производству (26 977 тыс. т) и применению удобрений (20 200 тыс. т) находятся США.

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 этих странах также самая высокая и составляет соответственно 82,9, 73,2 и 70,8 ц/га.

Среди применяемых удобрений в странах Европы преобладают азотные удобрения. Это связано с тем, что при наличии влаги азот занимает первое место по действию на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции. Меньше всего применяется фосфорных удобрений, что обусловлено дефицитом фосфорных удобре-

ний в мировом земледелии. Невысоки в большинстве стран Европы и дозы калийных удобрений.

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 Российской Федерации в 2016 г. было произведено 20,56 млн. т д. в. минеральных удобрений, в том числе 9,4 млн. т азотных, 3,48 млн. т фосфорных и 7,68 млн. т калийных.

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 (исключение составляют государства Европы и США).

1.1. Производство и применение удобрений в Беларуси

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 и фосфорных – 0,25 млн. т. В мировом производстве калийных удобрений в 1990 г. на долю Беларуси приходилось 22 %. Основные производители минеральных удобрений: азотных – Гродненское производственное объединение «Азот», фосфорных – Гомельский химический завод и калийных – производственное объединение «Беларуськалий».

По производству минеральных удобрений Беларусь в 1990 г. занимала первое место в мире – 580 кг (д. в.) на каждого жителя. Большое количество удобрений, особенно калийных, экспортировалось. Ежегодно производство известковых удобрений составляло около 5 млн. т.

За 15 лет (1975–1990) использование азотных, фосфорных и калий-

ных удобрений увеличилось с 1,4 до 2,05 млн. т. В 1986–1990 гг. в среднем ежегодно вносилось 1 938 тыс. т д. в. минеральных удобрений, что составляло 259 кг NPK на 1 га пашни, 176 кг на 1 га улучшенных сенокосов и пастбищ и 216 кг на 1 га сельхозяйственных угодий.

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. В 1986–1990 гг. применялось 259 кг NPK, в том числе 65 кг P_2O_5. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, за счет органических и минеральных удобрений в 1986–1990 гг. в республике формировалось около 56 % урожая сельскохозяйственных культур. Продуктивность гектара пашни возросла с 13,7 ц к. ед. в 1960–1965 гг. до 42,4 ц в 1986–1990 гг., урожайность зерновых – с 8,4 до 29,6 ц/га. 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 (pH в KCl > 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.

При достигнутом уровне интенсификации в 1990 г. потенциал продуктивности растениеводства был реализован не более чем наполовину. Причины этого – неэффективная система хозяйствования и организации земледелия, невысокая агрономическая культура, слабое использование естественных природных и биологических факторов.

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 P_2O_5 и 45 K_2O.

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.

Количество ежегодно вносимых на пашне органических удобрений с 1991 по 1995 г. снизилось в 1,5 раза, минеральных – почти в 3 раза, а фосфорных – в 6 раз. В результате не только снизилась продуктивность пашни, но и уменьшилось содержание подвижных форм фосфора (на 8 мг) и калия (на 9 мг/кг почвы) в ней.

Особенно резко уменьшилось применение удобрений на лугах и пастбищах. В последние годы формирование урожая на этих угодьях происходило преимущественно за счет запаса питательных элементов в почве. Такое положение неприемлемо в дальнейшем, ибо может привести к потере созданного длительным трудом плодородия почв и дальнейшему уменьшению сбора самых дешевых травяных кормов.

Одной из первостепенных задач в сельском хозяйстве является увеличение объемов применения удобрений до уровня, обеспечивающего 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.

Основной особенностью и принципиальной сущностью нынешнего этапа сельскохозяйственного производства является необходимость наращивания производства сельскохозяйственной продукции в условиях сокращения потребления энергоресурсов. Поэтому одним из приоритетных направлений в области земледелия и растениеводства является разработка и обоснование комплексных, адаптивных, энергосберегающих, экологически безопасных систем землепользования, обеспечивающих продуктивность пашни 70–85 ц/га, луговых угодий – 30–40 ц/га к. ед., снижение энергозатрат на 15–20 %.

Большое внимание должно быть уделено разработке бактериальных удобрений, усиливающих ассоциативную и симбиотическую азотфиксацию, мобилизацию в почве труднодоступных соединений минерального питания.

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 вероятна 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 сельскохозяйственных 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. 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 возрастанию калия.

Таблица 1.1. **Динамика применения удобрений, изменения агрохимических свойств почвы на пахотных почвах Беларуси**

Показатели	Годы											
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2011–2015	2016
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Внесено NPK, кг/га	259	177	149	156	261	313	283	274	236	209	263	147
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	–

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Средневзвешенная величина pH_{KCl}	5,81	5,88	5,88	5,98	–	–	5,89	–	–	–	5,84	–
Содержание гумуса, %	2,18	2,24	2,27	2,28	–	–	2,23	–	–	–	2,25	–
Содержание P_2O_5, мг/кг	173	190	188	177	–	–	191	–	–	–	188	–
Содержание K_2O, мг/кг	156	182	172	190	–	–	–	–	–	36,5	218	–
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
Урожайность картофеля, ц/га	151	131	117	–	–	221	186	214	210	208	208	252
Продуктивность пашни, ц/га к. ед.	42,8	35,9	29,1	33,4	42,6	45,7	47,2	43,3	47,1	41,3	44,9	–

Основными факторами, обеспечивающими формирование высокопродуктивных посевов сельскохозяйственных культур, являются обеспеченность хозяйств минеральными удобрениями и состояние плодородия почв. При этом уровень почвенного плодородия в наиболее значительной мере определяет стабильность погодных условий. В настоящее время среднее содержание подвижного фосфора в пахотных почвах республики составляет 188 мг/кг, калия – 218 мг/кг почвы, содержание гумуса – 2,25 %, показатель кислотности почв pH_{KCl} – 5,84.

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.

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 формируются в зависимости от уровня применения удобрений, но и сами влияют на эффективность удобрений. Динамика доз минеральных удобрений представлена на рис. 1.1.

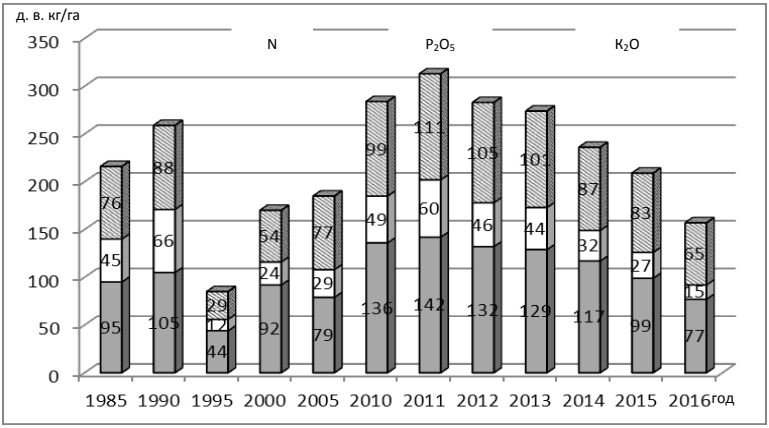

Рис. 1.1. Динамика доз минеральных удобрений на пахотных почвах Беларуси, д. в. кг/га

Анализ данных, приведенных на рис. 1.1, 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.

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 пять лет обозначилась устойчивая негативная тенденция снижения доз всех видов удобрений, особенно фосфорных.

Применение минеральных удобрений на улучшенных сенокосах и пастбищах уже ряд лет неудотворительно, а по сравнению с 2011 г. уменьшилось более чем в 2 раза. В 2015 г. на удобряемую площадь внесено по 84 кг/га д. в., в том числе 41 кг азота, 1 кг фосфора и 42 кг калия.

Расширенное воспроизводство плодородия почв невозможно без системного применения минеральных удобрений. Система применения удобрений в Беларуси должна предусматривать компенсацию вы-

носа 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.

Ежегодная потребность в минеральных удобрениях на период до 2015 г. составляла 1 733 тыс. т д. в., в том числе 704 тыс. т азотных, 293 тыс. т фосфорных и 736 тыс. т калийных удобрений. Такой объем минеральных удобрений обеспечивает формирование высокой урожайности всех сельскохозяйственных культур и необходимое повышение запасов фосфора и калия в слабо обеспеченных этими элементами почвах. Дальнейший прирост урожайности сельскохозяйственных культур нужно планировать не за счет увеличения объемов внесения минеральных удобрений, а за счет повышения окупаемости их прибавкой урожайности 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. К 2020 г. планируется внесение не менее 1,7 млн. т д. в. минеральных удобрений, из них 0,7 млн. т. азотных, 0,3 млн. т фосфорных и 0,7 млн. т калийных удобрений. 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.

Особое значение имеет дифференцированное применение калийных и фосфорных удобрений для снижения перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сельскохозяйственные культуры на загрязнен-

ных землях после Чернобыльской аварии. Весьма важно обеспечить перевооружение хозяйств новой техникой для точного дозирования и равномерного распределения удобрений по площади поля и организовать промышленный выпуск новых форм комплексных удобрений с добавками микроудобрений.

Эффективное использование минеральных и органических удобрений с учетом потребности сельскохозяйственных культур и многообразия свойств почв является важным составляющим стратегии адаптивной интенсификации сельского хозяйства, которая направлена на производство высококачественных и конкурентоспособных сельскохозяйственных продуктов и сохранение экологического равновесия.

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 период 2001–2005 гг. уменьшилось от 14,4 до 6,2–6,3 т/га (рис. 1.2).

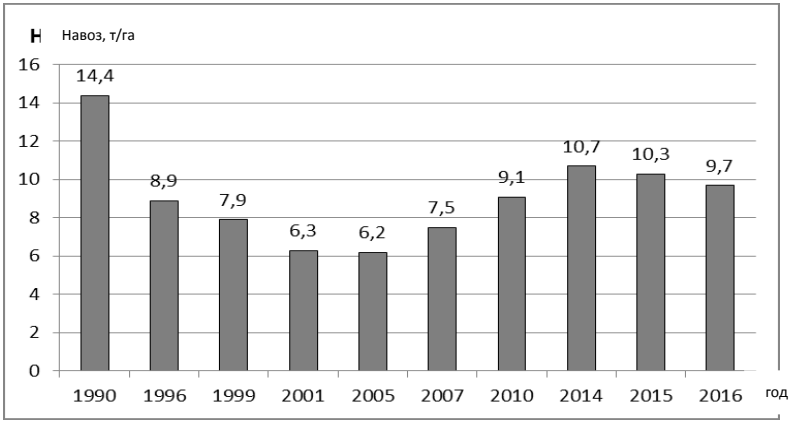

Рис. 1.2. Дозы внесения органических удобрений на пахотных почвах Беларуси, т/га

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. 1.3).

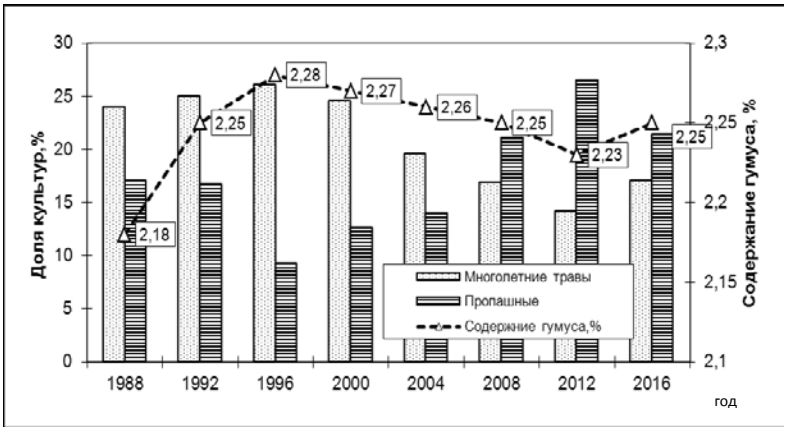

Рис. 1.3. Динамика структуры посевов и содержания гумуса в пахотных почвах Беларуси за период 1988–2016 гг.

Темпы минерализации гумуса в почвах зависят от технологии возделывания сельскохозяйственных культур и способов обработки 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. 1.3).

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. При такой структуре посевов процессы минерализации гумуса существенно превышают процессы его синтеза.

В настоящее время Научно-практическим центром НАН Беларуси по земледелию разработана новая экономически обоснованная структура посевных площадей, утвержденная Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, которая ориентиро-

вана как на достижение прогнозных показателей развития аграрно-промышленного комплекса страны, так и на восстановление бездефицитного баланса гумуса в почвах. Поэтому наблюдается некоторый позитивный сдвиг в расширении площади многолетних трав и сокращении площади посева кукурузы на зеленый корм. Несомненно, что систему мероприятий, направленных на достижение бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах, необходимо периодически корректировать с учетом существующей структуры посевных площадей. Комплекс этих мероприятий должен включать рациональное использование традиционных органических удобрений, запашку возможных объемов соломы и других растительных остатков (ботва сахарной свеклы, стебли кукурузы после уборки на зерно и др.), а также применение торфа для утилизации полужидкого навоза.

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. 1.4).

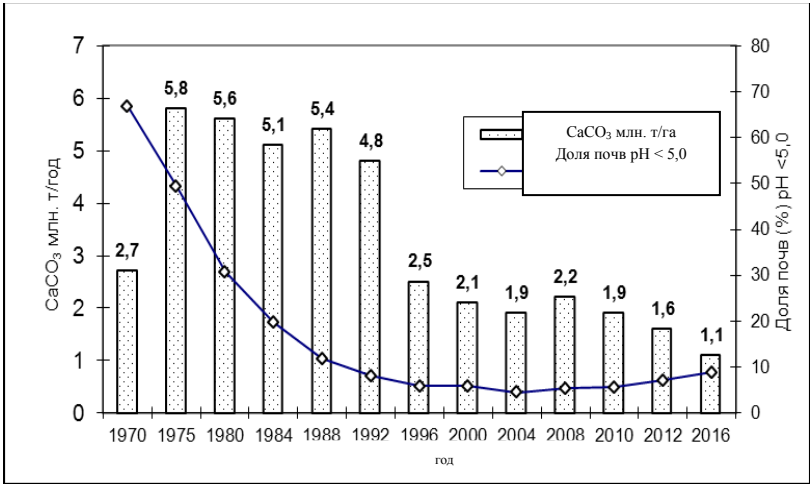

Рис. 1.4. Динамика среднегодового объема внесения извести (млн. т $CaCO_3$) и доли площади сильно- и среднекислых почв с показателем pH < 5,0 на пашне Беларуси

Для поддержания оптимальной реакции и насыщенности поглощающего комплекса почв обменными формами кальция и магния 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 $CaCO_3$ (табл. 1.2). 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.

Таблица 1.2. **Среднегодовая потребность известковых мелиорантов для поддержания оптимальной реакции почв сельскохозяйственных земель и фактическое внесение извести по областям Беларуси в % от потребности**

Области	Потребность $CaCO_3$, тыс. т	Внесено в % от потребности		
		2008–2010 гг.	2011–2012 гг.	2013–2016 гг.
Брестская	317	100	72	58
Витебская	413	84	53	53
Гомельская	351	74	59	60
Гродненская	303	95	73	61
Минская	437	96	118	58
Могилевская	379	80	50	59
Беларусь	**2 200**	**88**	**72**	**58**

Поддерживающее известкование особенно важно в интенсивном земледелии на фоне применения повышенных доз азотных удобрений (табл. 1.3), 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.

Ассортимент минеральных удобрений определен исходя из биологических особенностей сельскохозяйственных культур и перспективы развития химических заводов республики. Азотные удобрения производятся в форме карбамида, КАС, карбамида с гуматами, сульфата аммония, комплексных удобрений.

Таблица 1.3. **Динамика внесения азотных удобрений за период 2001–2016 гг. на пашне и улучшенных луговых землях, N кг/га**

Области	Пашня				Сенокосы и пастбища			
	Годы				Годы			
	2001	2005	2011	2016	2001	2005	2011	2016
Брестская	46	76	100	81	29	24	39	35
Витебская	51	80	103	39	43	48	58	39
Гомельская	41	61	118	65	22	32	43	32
Гродненская	69	104	115	82	42	50	47	50
Минская	44	83	119	75	34	59	51	36
Могилевская	44	68	105	49	31	32	32	34
Беларусь	**47**	**77**	**111**	**65**	**33**	**40**	**46**	**38**

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

Ассортимент калийных удобрений будет 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.

Общей тенденцией в мировой практике и в нашей стране является увеличение объемов применения комплексных удобрений и сокращение однокомпонентных низко концентрированных форм.

В зарубежной практике (США, Японии, Канаде, Германии, Франции, Финляндии, Италии и др.) комплексные удобрения широко применяются с середины XX столетия. В последние годы в этих странах производство их составляет более 50 % от общего объема производства минеральных удобрений. В настоящее время широко известны марки комплексных удобрений, выпускаемых зарубежными фирмами.

Промышленное производство новых форм комплексных удобрений для основного внесения в почву осуществляется на ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Беларуськалий», удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов для некорневых подкормок по вегетации растений – на ОАО «Гомельский химический завод» (хлорсодержащих), на ОАО «Гомельхимторг» (бесхлорных), наиболее широко производились комплексные удобрения для льна, сахарной свеклы, озимого рапса, несколько меньше для зерновых культур (озимых и пивоваренного ячменя), кукурузы, подсолнечника и многолетних трав.

В комплексе факторов формирования урожая сельскохозяйственных культур и качества растениеводческой продукции решающее значение имеет сбалансированное питание растений всеми необходимыми макро- и микроэлементами. Все возрастающая роль микроэлементов в современном сельском хозяйстве Беларуси состоит в том, что их применение способствует не только повышению эффективности минеральных удобрений, а также противостоит снижению содержания их подвижных форм в почве в связи с отрицательным балансом, обусловленным снижением почвенной кислотности, возрастающими выносами урожаями и недовнесением микроэлементов в почву, связанных с недостаточным объемом применяемых органических удобрений.

2. 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 **поглотительная способность**, под которой понимают способность почвы поглощать и удерживать твердые, жидкие и газообразные вещества. Благодаря поглотительной 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.

Удобрения изменяют баланс элементов питания; осушительная мелиорация преобразует водно-воздушный режим; средства химической защиты растений в отдельных случаях существенно увеличивают концентрацию неблагоприятных веществ, что приводит к нарушению микробиологической деятельности; известкование полностью преображает поглощающий комплекс дерново-подзолистых почв, применение органических удобрений оказывает существенное влияние на питательный режим, биологические и другие свойства почвы. Все эти воздействия на почву увеличиваются при возрастании урожайности сельскохозяйственных культур, более мощном развитии корневых систем, влияющих на процессы транспирации химических элементов.

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. 2.1).

Таблица 2.1. **Валовое содержание элементов питания в дерново-подзолистых и торфяных почвах, %**

Типы почв, гранулометрический состав	N	P_2O_5	K_2O
Дерново-подзолистые песчаные	0,07–0,1	0,06–0,08	0,7–1,2
Дерново-подзолистые супесчаные	0,08–0,13	0,07–0,12	1,5–2,0
Дерново-подзолистые суглинистые	0,1–0,16	0,09–0,15	2,0–2,5
Дерново-подзолистые 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 содержится 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.

2.1. 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. Плодородная почва способствует более эффективному использованию повышенных доз удобрений, новых методов обработки почв и других приемов агротехники, а также лучше противостоит отрицательным внешним воздействиям – эрозии, уплотнению, загрязнению тяжелыми металлами, остатками пестицидов и др.

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 поч-

вы (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.

2.1.1. 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.

$$\underset{\text{ортоклаз (полевой шпат)}}{K[AlSi_3O_8]} + \xrightarrow{nH_2O} \underset{\text{каолинит}}{Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]} + \underset{\text{опал}}{SiO_2 \cdot nH_2O} + KOH.$$

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 почвообразующиеся породы и присутствуют в виде частиц песка (0,05 до 1 мм), пыли (0,001 до 0,05 мм) и меньше в виде илистых (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 илистых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц.

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

Вторичные алюмосиликатные минералы представлены листовыми двух- (каолиниты) и трех- (монтмориллониты) слойными решетками, состоящими из слоев кремнекислородных тетраэдров, образующих

гексагоны, соединенные с алюмогидроксильными октаэдрическими слоями. Среди двухслойных минералов каолинитовой 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 % илистых 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) $Al_2(OH)_2$ $[Al, Si]_4 \times$ $\times nH_2O$ и гидробиотит присутствуют практически во всех почвах в илистой 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 $Fe_2O_3 \times$ $\times nH_2O$, которые в коллоидной фракции в зависимости от реакции среды могут вести себя как кислоты или основания, обусловливая 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. 2.2).

Таблица 2.2. **Примерный химический состав гранулометрических фракций почвы**

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

2.1.2. 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, нахо-

дящихся 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 оструктуривании 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 слабоокультуренной легкосуглинистой почве экспериментальной базы «Куросовщина», отличающейся малой фильтрационной способностью, известкование, внесение органических, минеральных удобрений и посев клевера повышало коэффициент фильтрации с 0,7 до 63 $м^3$ 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 способность гумусовых веществ предотвращать фиксацию глинистыми минералами калия за счет образования соединений типа хелатов.

Способность гумуса акцептировать вносимые в почву в процессе техногенеза органические и минеральные токсичные вещества определяет его важную экологическую роль в агроценозах. В частности, гумусовые вещества обладают высокими величинами емкости катионного обмена и удельной поверхностью, играют важную роль в сорбции гербицидов. Велика роль гумуса в снижении токсичного действия тяжелых металлов. Гумусовые вещества способны образовать с тяжелыми металлами трудно- и нерастворимые высокомолекулярные комплексные соединения, что смягчает или полностью снижает воздействие токсикантов на микробные сообщества почв, снижает накопление токсичных веществ в растениеводческой продукции.

Причина низкого содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах – условия их формирования, главным образом в связи с меньшим притоком ФАР и соответственно меньшим образованием свежего органического вещества, а также более интенсивными темпами его разложения. Поэтому необходимо создавать бездифицитный, а в ряде случаев и положительный баланс гумуса.

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 трудноразлагающихся компонентов – целлюлозы, трудногидролизуемых белков, воскосмол, 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.

В связи с таким большим значением гумуса в плодородии почвы большой интерес представляют исследования по темпам гумусонакопления в почвах. Обобщение данных многолетних стационарных опытов с различными системами удобрения на дерново-подзолистых почвах показало, что наибольшие изменения в содержании гумуса происходят в первые 7–10 лет, затем этот показатель мало изменяется в связи с установлением равновесного состояния процессов минерализации – гумификации. При использовании почвы без удобрений содержание гумуса стабилизируется на уровне в среднем на 20 % ниже исходного, при использовании минеральной системы удобрений – на 15 %. При длительном применении навоза содержание гумуса сохраняется на исходном уровне, а при сочетании органических удобрений с минеральными наблюдается его повышение до 20 % выше исходного.

Характер содержания гумуса в почвах зависит от доз органических удобрений и климатических условий. На легких дерново-подзолистых почвах Соликамской опытной станции применение 7 т/га навоза в год в севообороте с многолетними травами слабо влияло на уровень гумусированости. Внесение 20 т/га навоза ежегодно в одном из длительных опытов в Германии в зернопропашном севообороте даже за 8 лет повысило содержание гумуса на 65 %. Повышение доз органических удобрений до экстремально высоких (60 т/га в год) в длительном опыте в Скерневицах (Польша) увеличивало содержание гумуса более чем в 3 раза (с 0,79 до 3,09 %).

При определении оптимума главное установить нижнюю границу содержания гумуса, при которой недостаток в почве органического вещества является тормозам в формировании высоких урожаев, что же касается верхнего предела, то для дерново-подзолистых почв его содержание будет определятся, 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 %, супесчаных – 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.

Большое значение имеет не только общее содержание гумуса, но и его состав. В природе существует много примеров, когда высокое содержание гумуса еще не является показателем высокого плодородия. В то же время известны своим плодородием малогумусные почвы тропиков. Все это говорит о том, что плодородные почвы должны не только обладать определенным запасом гумуса, но важно еще, чтобы

этот гумус был активным, мобильным, чтобы он не оставался мертвым запасом, а деятельно участвовал в биологических, химических и физических процессах почвы и обеспечивал растения элементами питания.

Исследования, проведенные в Институте агрохимии им. Д. Н. Прянишникова (Россия), показали, что длительное применение органических и минеральных удобрений практически не изменяло группового состава гумуса. В то же время при длительном применении удобрений наблюдалось количественное изменение содержания гумуса, физико-химических свойств почвы, интенсивности деятельности почвенной микрофлоры. Более сильное действие длительное применение удобрений оказывает на содержание подвижных и водорастворимых фракций. Результаты длительных опытов показали, что в вариантах с удобрениями увеличивается в дерново-подзолистых почвах содержание водорастворимых гумусовых веществ. Причем большее накопление водорастворимого гумуса отмечено при применении навоза и навоза совместно с NPK, чем одних NPK-удобрений.

В связи с накоплением водорастворимых форм органического вещества в почвах при длительном применении удобрений предполагают, что в его составе значительное место занимают свежеобразованные 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 (60 т/га, Скерневицы, Польша) 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.

2.2. 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 степени измельчения), микроорганизмы. Благодаря механической поглотительной способности из почвы не вымываются илистые 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 обусловливает 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, фульвокислоты и их соли), минеральные – глинистыми минералами, как кристаллическими, так и аморфными соединениями (кремниевая кислота, гидраты полуторных оксидов).

Способность органических коллоидов и минералов глин к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Поэтому поглощаются катионы солей (удобрений). Положительный заряд имеют коллоидные гидрооксиды 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 ($H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$), 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:

$$\text{ППК)}\ H^+ + KCl \rightleftarrows \text{ППК)}\ K^+ + HCl,$$

$$\text{ППК)}\ Ca^{2+} + 2KCl \rightleftarrows \text{ППК)}\ \begin{matrix} K^+ \\ K^+ \end{matrix} - CaCl_2,$$

$$\text{ППК)}\ H^+ + NH_4NO_3 \rightleftarrows \text{ППК)}\ NH_4^+ + HNO_3;$$

- 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 растворе 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 боль-

ше, 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 полуторооксидов и к той части почвенных минералов, которая представлена полуторными 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 Å, радиус NH_4^{+} = 1,43 Å (Å – ангстрем; 1 Å = 10^{-10} м = 10^{-8} см = 0,1 мм).

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 поглотительная 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 закрепляется 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.

2.3. 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: pH суспензии почвы в воде или в растворе KCl.

Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать

условной величиной pH (отрицательный логарифм концентрации H^+ ионов).

Принято следующее деление минеральных и торфяных почв Республики Беларусь в зависимости от реакции почвенного раствора pH_{KCl} (табл. 2.3).

Таблица 2.3. **Градация почв по степени кислотности**

Группы	Степень кислотности	Почвы	
		минеральная	торфяная
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

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

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:

$$AlCl_3 + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3HCl$$
$$3HCl \rightleftarrows 3H^+ + 3Cl^-.$$

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):

$$\begin{matrix} H^+ & & K^+ \\ H^+ & & H^+ \end{matrix}$$
$$ППК) + KCl \rightleftarrows ППК + HCl,$$

в результате чего почвенный раствор подкисляется. Это **обменная**

потенциальная кислотность почвы, выражается pH в KCl.

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

$$CH_3COONa + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + NaOH \begin{cases} \nearrow Na^+ \\ \searrow OH^- \end{cases}$$

$$\text{ППК)}\begin{matrix} H^+ \\ H^+ \end{matrix} + CH_3COOH + 2Na^+ + 2OH^- \rightleftarrows \text{ППК)}\begin{matrix} Na+ \\ Na+ \end{matrix} +$$

$$+ CH_3COOH + 2H_2O.$$

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 мэкв в 100 г почвы.

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

$$V = \frac{S \cdot 100}{T} = \frac{S \cdot 100}{S + H_г},$$

где V – степень насыщенности почвы основаниями, %;

S – сумма поглощенных оснований (кроме H^+);

T (ЕКО) – поглотительная 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 микроор-

ганизмов. 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:

$$CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+,$$

$$H_2CO_3 \rightleftarrows H^+ + HCO_3^-.$$

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

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

$$CH_3COONa + HCl = CH_3COOH + NaCl.$$

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

$$(RCOO)_2Ca + 2HNO_3 = 2RCOOH + Ca(NO_3)_2,$$
$$2RCOOH + Ca(OH)_2 = (RCOO)_2Ca + 2H_2O.$$

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

$$\text{ППК}\begin{matrix}Ca^{2+}\\Mg^{2+}\end{matrix} + H_2SO_4 \rightleftarrows \text{ППК})\begin{matrix}H^+\\H^+\\Mg^{2+}\end{matrix} + CaSO_4.$$

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 среднеокультуренных 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 почвам 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/см^3, для картофеля – 1,0–1,2, а супесчаных – 1,2–1,5 г/см^3. Фактическая плотность значительно выше. В среднем в Республике Беларусь плотность пахотного слоя суглинистых почв превышает оптимальную на 0,18–0,20 г/см^3, а подпахотного – на 0,35–0,50 г/см^3. В зависимости от погодных условий увеличение плотности пахотного слоя сверх оптимального на 0,15 г/см^3 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 допустимо-

го. 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.

2.3.1. Азотный режим почвы

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 Республики Беларусь варьирует в значительных пределах и зависит от типа почвы, гранулометрического состава, запасов гумуса, режима увлажнения, степени окультуренности почвы.

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.

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. 2.4).

Таблица 2.4. **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 общ. N
Среднесуглинистая почва на моренном суглинке						
An	4–20	2,45	0,179	6,4	51,2	2,9
A_2B_1	30–40	0,69	0,064	1,4	41,4	6,5
B_1	55–68	0,32	0,054	2,8	44,0	8,2
B_2	90–100	0,20	0,031	3,5	33,8	10,9
C	165–175	0,07	0,025	2,3	40,4	16,2
Легкосуглинистая почва на лессовидном суглинке						
An	2–18	1,69	0,119	3,1	46,0	3,9
A_2	30–40	0,81	0,091	3,7	42,5	4,7
B_1	55–65	0,51	0,056	3,8	44,0	7,9
B_2	102–114	0,28	0,320	1,7	37,3	11,7
C	140–150	0,22	0,036	4,7	43,0	11,9
Связнопесчаная почва, подстилаемая моренным суглинком						
An	5–15	1,30	0,070	2,2	14,5	2,1
A_2B_1	25–35	0,48	0,039	1,2	11,8	3,0
B_1	50–65	0,14	0,014	0,6	1,7	1,2
B_2	80–100	0,14	0,021	1,6	18,4	8,8
C	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.

Как показали исследования Н. Н. Семененко, более высокое относительное содержание (% от общего) фиксированного аммония в суглинистых почвах при их окультуривании указывает на то, что процесс аккумуляции этой фракции азота проходит более интенсивно, чем процесс гумусообразования и накопления общего азота.

Определение фракционного состава азота по методу Шконде-Королевой показало, что при окультуривании почвы запасы минеральных соединений азота возрастают. Около 50 % метрового слоя минеральных соединений азота приходится на слой 0–40 см (табл. 2.5).

Содержание минерального азота (нитратов, нитритов и обменного аммония) при сельскохозяйственном использовании и окультуривании увеличивается на суглинистых почвах от 5,9 до 28,6 мг/кг, супесчаных – от 6,8 до 20,2 и песчаных – от 8,0 до 15,8 мг/кг. С глубиной относительное содержание минеральных соединений азота возрастает, что связано с более интенсивной миграцией вниз по профилю почвы минеральных соединений азота.

Среди органических соединений азота его легкогидролизуемая фракция (амиды, часть аминов, часть необменного аммония) является в агрономическом отношении наиболее ценной, так как она есть ближайший резерв в питании растений. Запасы легкогидролизуемых соединений азота в пахотных почвах с повышением окультуренности повышаются (табл. 2.5). При окультуривании легких почв интенсивность аккумуляции фракции легкогидролизуемого азота опережает интенсивность накопления общего азота.

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

Негидролизуемый азот (большая часть аминов, гумины, меланины, битумы, остаток необменного аммония) – фракция, представленная более стойкими к гидролизу и микробиологическому разложению органическими азотсодержащими соединениями, – составляет большую часть валовых запасов азота дерново-подзолистых почв (80–82 % в слое 0–40 см в суглинистых и супесчаных почвах и 70–75 % в песчаных). Закономерности распределения в почвенном профиле негидролизуемых соединений азота в целом совпадают с распределением общего азота.

Таблица 2.5. **Фракционный состав азота в дерново-подзолистых почвах (Н. Н. Семененко)**

Окультуренность почвы	Содержание фракций азота, кг/га					
	Мощность, см	Азот общий	Минеральный	Легкогидролизуемый	Трудногидролизуемый	Негидролизуемый
Суглинистая						
Слабая	0–20	2685	33	209	257	2189
	0–40	4517	64	360	425	3667
	0–100	6022	104	493	612	4811
Средняя	0–20	3711	47	183	345	3139
	0–40	6273	90	370	569	5246
	0–100	7583	183	511	757	6135
Хорошая	0–20	4110	69	251	319	3741
	0–40	7426	128	474	574	6246
	0–100	9057	194	636	839	7390
Супесчаная						
Слабая	0–20	1904	23	217	104	1556
	0–40	2551	35	293	181	2042
	0–100	3505	70	409	321	2706
Средняя	0–20	2270	32	175	180	1895
	0–40	3499	61	275	298	2864
	0–100	4935	112	423	606	3794
Хорошая	0–20	2611	39	226	297	2047
	0–40	4117	77	369	534	3138
	0–100	5533	147	516	955	3916
Песчаная						
Слабая	0–20	1623	24	257	140	1252
	0–40	2292	43	438	269	1654
	0–100	3453	89	664	575	2318
Средняя	0–20	2754	28	295	279	2189
	0–40	4948	51	539	507	3952
	0–100	6819	93	675	787	5274
Хорошая	0–20	3021	42	409	435	2245
	0–40	5507	71	717	789	4109
	0–100	8258	136	1035	968	6479

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 минерального 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.

2.3.2. Фосфатный режим почвы

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:

Ортофосфаты почвенного раствора (фактор интенсивности) ⟷ Лабильные фосфаты (фактор емкости) ⟷ Стабильные фосфаты

Первая группа – ортофосфаты почвенного раствора, полностью доступные растениям. Это однозамещенные водорастворимые 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 $CaC1_2$ вытяжке.

В Беларуси принята следующая градация почв по методу Скофилда (мг P_2O_5 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 ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$), октакальцийфосфат ($Ca_4H(PO_4)_3$), 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. 2.6), щелочные, буферные растворители, анионно-обменные смолы, радиоизотопный метод и др. В Беларуси широко используется метод Кирсанова.

Стабильные фосфаты – труднорастворимые соединения, заключенные в почве в первичных и вторичных минералах (окклюдированные гидратами полуторaоксидов, 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.

Таблица 2.6. **Группировка почв Беларуси по содержанию подвижных форм фосфора по методу Кирсанова**

Группы почв по содержанию питательных элементов	Содержание P_2O_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

Органические фосфаты в почве представлены различными по природе группами соединений: индивидуальной природы (неспецифиче-

ские 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.

Исследования показали, что природа связи поглощенных фосфат-ионов является преимущественно поверхностно-адсорбционной. При этом адсорбция по типу первичной адсорбции (хемосорбции), характерной чертой которой является поглощение фосфат-ионов как потенциалопределяющих ионов коллоидной частицы почвы (почвенно-поглощающего комплекса), происходит с образованием внутренней частицы двойного электрического слоя, что подтверждается наличием адсорбции катионов раствора соли фосфата как противоиона. Адсорбционное поглощение дерново-подзолистыми почвами составляет примерно 70–80 % от общего количества поглощенных фосфатов. Остальная часть (20–30 %) поглощается по химическому типу с образованием отдельной твердой фазы, главным образом, труднорастворимых фосфатов алюминия, железа различной основности, а также фосфатов кальция.

По мере взаимодействия с почвами поверхностно-адсорбированные фосфат-ионы претерпевают изменения и превращаются в химические соединения, характерные для данного типа почвообразования и с различной степенью доступности растениям.

Внесенные в дерново-подзолистые почвы водорастворимые формы фосфорсодержащих удобрений, подчиняясь законам термодинамики, с течением времени превращаются в более устойчивые формы. На начальных этапах взаимодействия с почвой происходит образование рыхлосвязанных фосфатов кальция и аморфных соединений фосфатов алюминия и железа. Фосфор этих соединений сравнительно легко усваивается сельскохозяйственными растениями. При длительном взаимодействии свежеосажденные фосфаты кальция и полуторных оксидов кристаллизуются и переходят соответственно в более основные и труднорастворимые соединения.

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. 2.7).

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 полуторaоксидов фосфаты алюминия среди накопленных преобладали над фосфатами железа (табл. 2.7). В то же время в варианте, где применялись только минеральные удобрения, на долю фосфатов полуторaоксидов 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.

Таблица 2.7. **Влияние длительного применения удобрений на формы фосфора в дерново-подзолистых почвах, мг/кг почвы (И. Р. Вильдфлуш)**

Внесено на 1 га севооборота	Р валовое	Р органическое	P_2O_5 в 0,2 м HCl	Р мин. по Гинзбург-Лебедевой					
				Ca–P I	Ca–P II	Al–P	Fe–P	Ca–P III	Всего
Легкосуглинистые почвы									
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
Супесчаные почвы									
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
Песчаные почвы									
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

В опыте Гродненской опытной станции на дерново-подзолистой супесчаной почве при применении в течение 13 лет $N_{30}P_{50}K_{50}$ на неизвесткованном фоне при сильнокислой реакции (pH в KCl 4,0) среди накопленных фосфатов в почве по сравнению с контролем на долю фосфатов полуторакоксидов приходилось 79 % (54 % – на фосфаты алюминия и 22 % – на фосфаты железа), а на известкованном фоне ($pH_{сол}$ 5,5) на фосфаты полуторакоксидов 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 поверхности 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.

2.3.3. Калийный режим почвы

Общие запасы калия в почве весьма велики по сравнению с азотом и фосфором. 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 падает 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.).

2. Калий поглощенный или обменный, входящий в состав катионов почвенного поглощающего комплекса. Легкая доступность обменного калия обусловлена способностью его переходить в почвенный раствор.

Определяется подвижный калий в почве по методу Кирсанова в вытяжке 0,2 м HCl, или обменный по методу Масловой в вытяжке 1 м CH_3COONH_4.

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.

Градация почв Республики Беларусь по содержанию подвижного калия приведена в табл. 2.8.

Таблица 2.8. **Градация почв Республики Беларусь по содержанию подвижного калия (по Кирсанову)**

Группы 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

Природный фиксированный калий – это калий кристаллической решетки. Он удерживается в решетке глинистых минералов силами, обусловливающими 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.

Формы калия могут переходить друг в друга. Эти процессы можно выразить следующим образом:

К водорастворимый $\rightleftarrows$ К обменный $\rightleftarrows$ К необменный $\rightleftarrows$ К входящий в состав безводных силикатов

Небольшое количество калия также входит в состав плазмы микроорганизмов (даже в хорошо окультуренных дерново-подзолистых поч-

вах его содержание не превышает 25 кг/га и в связи с этим эта форма калия практического значения в питании растений не имеет).

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 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 (pH): 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 в течение двух ротаций пятипольного севооборота на трех смоделированных уровнях по величине pH, содержанию подвижных форм фосфора и калия изучалось влияние удобрений на продуктивность севооборота и изменение агрохимических свойств в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (табл. 2.9).

Таблица 2.9. **Влияние удобрений и уровней плодородия почвы на формы калия в почве, мг/кг (И. Р. Вильдфлуш)**

Внесено в среднем на 1 га по севообороту	pH в KCl	K_2O в 0,005 HCl $CaCl_2$	Обменный калий в 0,2 М HCl	Необменный калий в 10%-ном HCl
Фон I				
1. Контроль	5,0	60	120	380
2. $N_{54}P_{57}K_{72}$	4,9	66	145	395
3. $N_{75}P_{86}K_{102}$	4,8	84	145	400
Фон II				
1. Контроль	5,7	72	170	430
2. $N_{54}P_{57}K_{72}$	5,6	133	220	440
3. $N_{75}P_{86}K_{102}$	5,6	141	225	460
Фон III				
1. Контроль	6,3	118	215	430
2. $N_{54}P_{57}K_{72}$	6,2	144	255	445
3. $N_{75}P_{86}K_{102}$	6,2	173	265	450

Примечание. Фон I – низкий уровень плодородия почвы, фон II – средний, фон III – высокий.

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.

2.3.4. Биологическая активность почвы

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 сильно- и слабокислых дерново-подзолистых почвах отмечается высокая численность плесневых грибов, многие виды которых синтезируют фитотоксические вещества.

Важным показателем экологического состояния почвы является ее ферментативная активность. Уровень почвенной кислотности – один из важнейших факторов, регулирующих активность почвенных ферментов. Концентрация ионов водорода H^+ оказывает влияние на ионное состояние ферментов, изменяя их ионизацию и растворимость.

Эти физико-химические факторы определяют скорость ключевых ферментативных реакций, протекающих в почве. При неблагоприятных изменениях кислотности почвы важнейшие ферменты, связанные с циклами основных биогенных элементов C, N, P, частично денатурируют, что приводит к нарушению круговорота элементов питания и процессов трансформации органического вещества и формированию гумуса.

Биологические свойства – продуцирование CO_2 и потенциальная азотфиксация (активность нитрогеназы), определяемые газохроматографическими методами, тесно зависят как от содержания гумуса, так и от других агрохимических свойств почв. Установлена достоверная связь биологических тестов с урожаями основных сельскохозяйственных культур. По-видимому, в условиях усиливающегося техногенного загрязнения почв роль биологических характеристик будет возрастать в оценке «здоровья» почв.

На дерново-подзолистых кислых почвах существенное влияние на активность биологических процессов оказывает известкование, которое оптимизирует реакцию почв, улучшает условия жизни микроорганизмов в почве, что усиливает процессы минерализации органического вещества.

Положительное влияние на биологическую активность почвы оказывает навоз и другие органические удобрения в сочетании с минеральными и известкованием. Минеральные удобрения без извести оказывают слабое влияние на ферментативную активность, а в сочетании с известкованием повышают ее.

2.4. 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); 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, содержание P_2O_5, K_2O, гумуса) выражен в относительных величинах, а за единицу приняты средние оптимальные значения этих свойств почв. Относительные индексы ($И_{отн}$) каждого свойства рассчитываются по формуле

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

где $X_{факт}$ – фактическое значение свойства по данным анализа;

$X_{мин}$, $X_{опт}$ – 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 $И_{отн}$ этого свойства принимается равным 1. После определения относительных индексов всех показателей рассчитывается индекс окультуренности ($И_{ок}$) как среднее арифметическое относительных индексов:

$$И_{ок} = \left(И_{pH} + И_{P_2O_5} + И_{K_2O} + И_{гум}\right) : 4.$$

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 ($И_{ок} < 0,4$); низкой (0,41–0,6); среднеокультуренные (0,61–0,8) и высокоокультуренные (0,81–1,0) почвы.

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 включе-

ния 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 (экологически 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 уровне 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.

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 пахотных земель преобладают автоморфные дерново-подзолистые почвы (47,1 %). Наибольшую площадь они занимают в Гродненской (65,5 %), Могилевской (55,2 %) и Минской (51,6 %). Значительно меньше они распространены в Витебской (33,8 %) и Брестской (32,9 %) областях, где соответственно увеличива-

ется доля дерново-подзолистых заболачиваемых почв.

Дерново-подзолистые заболачиваемые почвы занимают второе место в составе пахотных земель республики (40,5 %). Преобладают они в Витебской области – 63,2 %, а на остальной территории их доля колеблется в пределах 30–40 %.

Доля дерновых заболачиваемых почв составляет 5,4 % площади пахотных земель. Максимальное распространение они получили в Брестской области (19,9 %), в Гомельской области они занимают 6,8 %, в Минской – 4,3 % пахотных земель. В Витебской (0,8 %) и Могилевской (0,9 %) областях их распространение минимальное.

Торфяные почвы в составе пахотных земель занимают 4,8 %. Наибольшие их площади характерны для Брестской (10,9 %), Гомельской (8,1 %) и Минской (7,6 %) областей и практически отсутствуют в Гродненской (0,3 %) и Могилевской (0,6 %).

В последние годы в республике наблюдается увеличение площадей антропогенно-преобразованных почв, которые занимают в настоящее время 1,7 % пахотных земель. Среди них преобладают дегроторфоземы (около 80 % от общей площади антропогенно-преобразованных почв). Наибольшие площади их сконцентрированы в Брестской (3,5 %), Гомельской (3 %) и Минской (2,2 %) областях.

Аллювиальные дерновые заболачиваемые и дерново-карбонатные почвы в составе пахотных земель занимают небольшие площади (соответственно 0,5 и 0,1 %) и, хотя и являются плодородными, существенного влияния на развитие растениеводства в республике не оказывают.

Степень увлажнения также является одним из важнейших факторов, определяющих качество почв пахотных земель. В зависимости от увлажнения почвы республики подразделяются на автоморфные (почвы нормального увлажнения), полугидроморфные (минеральные заболоченные) и гидроморфные (болотные).

В целом по республике в составе пахотных земель автоморфные почвы занимают 47,1 %, полугидроморфные – 46,6 %, гидроморфные – 6,3 %. Полугидроморфные почвы, в свою очередь, подразделяются на слабоглееватые (временно избыточно увлажняемые, 27,7 %), глееватые (15,5 %) и глеевые (3,4 %). Удельный вес полугидроморфных и гидроморфных почв в составе пахотных земель по республике составляет 52,9 %.

Качественное состояние почв в значительной мере определяется гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород.

Уровень плодородия дерново-подзолистых почв обусловливается 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.

Почвы республики очень пестры по гранулометрическому составу, что связано с разнообразием почвообразующих пород. Гранулометрический состав почвы определяют 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 Республике Беларусь 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 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 (табл. 2.10), при которых обеспечиваются высокие уровни урожаев сельскохозяйственных культур и окупаемость удобрений, а также приемлемый уровень экологической безопасности.

Таблица 2.10. **Интервалы оптимальных параметров агрохимических свойств почв Беларуси**

Земли	Почвы	Оптимальные параметры			
		pH	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/кг	Гумус, %
Пахотные	Глинистые и тяжелосуглинистые	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

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

3.1. 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. 3.1). Качество растениеводческой продукции определяется содержанием органических и минеральных соединений.

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.

Таблица 3.1. **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

В плодовых, ягодных и овощных культурах важными показателями качества является содержание сахаров, органических кислот, витаминов и других веществ (табл. 3.2).

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 органогенные 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.

Таблица 3.2. **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

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 стотысячных 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, C, 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 обусловливают 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. 3.3).

Таблица 3.3. **Содержание элементов питания в сельскохозяйственных культурах, % на сухое вещество**

Культуры	Элементы питания				
	N	P_2O_5	K_2O	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

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
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 соломой 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, жирах – 80–100, крахмале – 400–450, сахаре – 50–100 г. Необходима человеку также клетчатка, витамины и целый ряд других органических и минеральных веществ (табл. 3.4).

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.

Таблица 3.4. **Потребность человека в питательных веществах**

Потребляемое вещество	Суточная норма, г
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
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
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

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 100 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 сахароза.

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 содер-

жится в зерне риса (78 %), пшеницы (65 %), кукурузы (66 %), ржи (68 %). Крахмал – легкоусвояемый организмом людей и животных углевод. 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. 3.5).

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.

Таблица 3.5. **Вынос азота, фосфора, калия, кальция, магния и серы с 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг (минеральные почвы)**

Культуры	Виды продукции	Элементы питания					
		N	P_2O_5	K_2O	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

Продолжение табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
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
Лен-долгунец (волокно)	»	5,81	2,29	7,30	1,50	0,78	1,60
Сахарная свекла	Корни	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
Куузику	»	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 силос	Зеленая масса	0,33	0,12	0,42	0,06	0,05	0,09
Однолетние бобово-злаковые травы	То же	0,45	0,13	0,43	0,09	0,06	0,05
То же	Сено	1,74	0,54	2,59	0,46	0,29	0,25
Однолетние злаковые травы	То же	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	То же	0,46	0,12	0,40	0,35	0,09	0,06
То же	Сено	2,28	0,56	1,80	1,72	0,46	0,27
Многолетние бобово-злаковые травы	То же	1,73	0,54	2,57	1,30	0,48	0,25
То же	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
То же	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
То же	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
То же	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
То же	Зеленая масса	0,39	0,12	0,49	0,20	0,10	0,05
Рапс яровой	То же	0,45	0,16	0,54	0,30	0,12	0,08
Рапс озимый	»	0,40	0,13	0,60	0,28	0,11	0,07
Редька масличная	»	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

Окончание табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
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

В табл. 3.5 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. 3.6).

Растения потребляют элементы питания в определенных соотношениях. Если за единицу принять удельный вынос фосфора, то для зерновых соотношение между $N:P_2O_5:K_2O:CaO:Mg$ 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.

Таблица 3.6. **Вынос азота, фосфора и калия с 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг (торфяные почвы)**

Культуры	Виды продукции	Элементы питания		
		N	P_2O_5	K_2O
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

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.

3.2. Питание растений

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:

$$6CO_2 + 6H_2O + 2874 \text{ кДж} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

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 и серной кислот H_2PO_4 и 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.

3.2.1. 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 обладают 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.

Схематически процесс поступления элементов питания в корневую систему растений и передвижения в растении можно описать следующим образом. К внешней поверхности цитоплазматической мембраны корневых волосков и наружных клеток молодых корешков ионы минеральных солей передвигаются из почвенного раствора с током воды и за счет процесса диффузии. Далее происходит поглощение ионов (катионов и анионов) наружной оболочкой клетки (цитоплазматической мембраной или плазмалеммой, поверхность которой имеет участки с положительными и отрицательными зарядами (благодаря свойствам белков, входящих в состав мембраны). На этих участках происходит обмен между ионами почвенного раствора (например, катиона калия и аниона фосфорной кислоты) и ионами, выделяемыми клеткой корня. Обменным фондом растительной клетки являются ионы H^+ и OH^- воды, а также H^+ и HCO_3^-, образующиеся при диссоциации угольной кислоты, выделяемой при дыхании. Кроме того, из клетки выделяются органические кислоты (например, яблочная), которые тоже диссоции-

руют на катионы и анионы и могут обмениваться клеткой на ионы почвенного раствора.

Адсорбированные клеточной мембраной ионы затем поступают внутрь клетки, а также в соседние клетки и сосуды.

Через мембрану или плазмалемму ионы проникают двумя способами. Во-первых, за счет диффузии и разного электрического потенциала между наружной поверхностью мембраны и внутренней. Такое поглощение происходит через плазмодесмы (поры) без затраты дополнительной энергии и условно называется **пассивным.** Во-вторых, передвижение поглощенных ионов с наружной поверхности мембраны на внутреннюю и в соседние клетки происходит и от меньшей их концентрации к большей, а также против электрического потенциала. Этот процесс требует затраты дополнительной энергии и называется **активным.** Механизм такого передвижения очень сложен. Он происходит с помощью так называемых переносчиков, а также ионных насосов. При этом одним из источников энергии является аденозинтрифосфорная кислота (АТФ).

Поступившие в клетку катионы и анионы, превратившись в подвижные органические соединения (например, сахара) или в неизменном виде, передвигаются по сосудам в стебли и листья, где и происходит синтез сложных органических веществ: белков, крахмала, клетчатки, жиров и др.

Исследованиями установлено, что синтез сложных органических веществ происходит не только в листьях, но и в корнях. Например, здесь образуется 20 аминокислот, один амид и др. Одновременно происходит обратное движение органических веществ и ионов: из листьев в корни и, частично, наружу.

Поглощение и передвижение питательных элементов происходит при участии ферментов. Эти процессы связаны с обменом веществ и энергии в растениях, с их жизнедеятельностью, а следовательно, с фотосинтезом и дыханием. Поэтому ослабление по каким-либо причинам фотосинтеза снижает интенсивность дыхания, поступление питательных элементов в растение и в итоге урожайность.

3.2.2. 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 ($(NH_4)_2SO_4$) 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 обусловливает их физиологическую кислотность или физиологическую щелочность. Соли, из которых в больших количествах поглощается анион, чем катион ($NaNO_3$, KNO_3, $Ca(NO_3)_2$), и происходит подщелачивание раствора, являются физиологически щелочными. Соли, из которых катион поглощается растениями в больших количествах, чем анион (NH_4C1, $(NH_4)_2SO_4$, $(NH_4)_2CO_3$, KC1, K_2SO_4), и происходит подкисление раствора, являются физиологически кислыми. Исключением в этом отношении является аммиачная селитра (NH_4NO_3). Д. Н. Прянишниковым и его учениками доказано, что и аммонийный, и нитратный азот аммиачной селитры при определенных условиях являются равноценными источниками питания растений.

Преимущественное использование растениями аммонийного или нитратного азота 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.

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

3.2.3. 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 $H_2PO_4^-$, $C1^-$ 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.

Большое значение для нормального питания растений имеет реакция почвенного раствора. Для большинства растений оптимальной реакцией почвы считается слабокислая и близкая к нейтральной, с pH 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 большое 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 удоб-

рения в почве создаются большие запасы энергетического материала (что очень благоприятно для бактерий), но мало азота. Из-за потребления азота микроорганизмами 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. Кроме того, некоторые почвенные микроорганизмы вызывают болезни растений.

3.2.4. 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 раннем возрасте 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 развертывания первых трех-четырех листьев начинаются закладка и дифференция репродуктивных органов – колоса или метел-

ки. 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 фор-

мирования зерна. Поступление фосфора более растянуто и продолжается почти до конца вегетации.

Неодинаковые потребность в элементах питания и интенсивность их поглощения в течение вегетационного периода должны учитываться при разработке системы удобрения. Для этого используются различные способы 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 подавляющую 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.

4. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ

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 растении, 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. Круговорот веществ в земледелии представлен на рис. 4.1.

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, распределения их

между районами и хозяйствами, позволяет целенаправленно регулировать плодородие, предохранять окружающую среду от загрязнения удобрениями. Баланс основных элементов питания отражает степень интенсификации сельскохозяйственного производства.

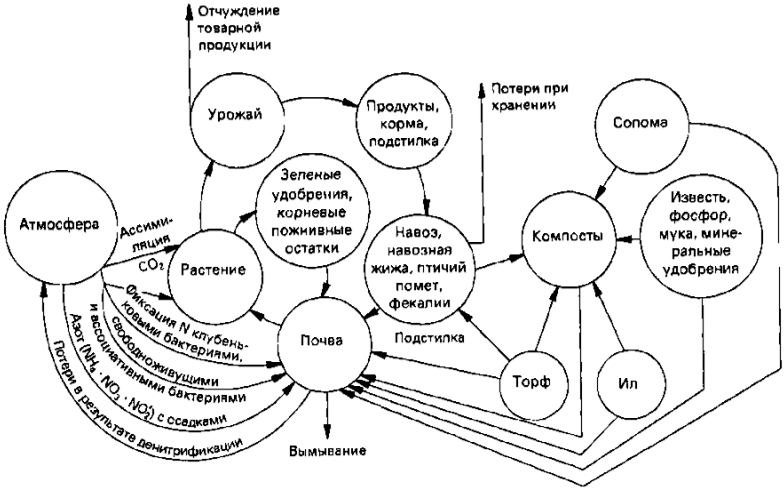

Рис. 4.1. Круговорот веществ в земледелии

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 бактериями – 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 кругообороте 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 кг/га:

$$Б_{NPK} = (П_{му} + П_{оу} + П_{о} + П_{с} + П_{б} + П_{н}) – (Р_{вын} + Р_{выщ} + Р_{эр} + Р_{г}),$$

где $Б_{NPK}$ – хозяйственный баланс азота, фосфора и калия, кг/га.

Приходные статьи:

$П_{NPK}$ – приход элементов питания, кг/га (пашни, сельскохозяйственных угодий, сенокосов и пастбищ);

$П_{му}$ – приход с минеральными удобрениями, кг/га;

$П_{оу}$ – приход с органическими удобрениями, кг/га ($П_{оу} = Н \cdot С$, где Н – доза органического удобрения, т/га; С – содержание элемента питания, кг/т);

$П_{о}$ – приход с осадками, кг/га;

$П_{с}$ – приход с семенами, кг/га;

$П_{б}$ – биологический азот, фиксированный бобовыми культурами, кг/га;

$П_{н}$ – несимбиотический фиксированный азот, кг/га;

*$П_{б}$ и $П_{н}$ – учитываются только при расчете азота;

$П_{с}$ – приход азота, фосфора и калия.

Расходные статьи:

$Р_{вын}$ – вынос элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур, кг/га;

$Р_{выщ}$ – потери от вымывания (выщелачивания), кг/га;

$Р_{эр}$ – потери от эрозии почв, кг/га;

$Р_{г}$ – газообразные потери азота, кг/га.

По данным последнего 13-го тура агрохимического обследования почв Республики Беларусь (2013–2016 гг.) средневзвешенная величина pH_{KCl} пахотных почв составила 5,84, содержания гумуса 2,25 %, подвижного фосфора и калия по методу Кирсанова 188 и 196 мг/кг почвы соответственно.

По сравнению с 12-м туром агрохимического обследования (2009–2012 гг.) средневзвешенный показатель pH_{KCl} снизился на 0,05 (с 5,89 до 5,84), содержание гумуса возросло на 0,02 % (с 2,23 до 2,25 %). Содержание подвижного фосфора снизилось на 3 мг/кг (с 191 до 188 мг/кг) и подвижного калия возросло на 12 мг/кг (с 206 до 218 мг/кг почвы).

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. 4.1), а с 12 т – 60,0 кг, фосфора – 30,0 кг (2,5 · 12), калия – 72,0 кг (6,0 · 12).

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.

Таблица 4.1. **Поступление питательных элементов с органическими удобрениями, кг/т**

Виды органических удобрений	Элементы питания					
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_4*
Навоз КРС на соломенной подстилке	5,0	2,5	6,0	4,0	1,1	0,2
Навоз КРС 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 КРС 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 КРС 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.

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 · 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 кг + 7000 кг) : 900 = 13,3 кг.

С *семенами*, по данным Института почвоведения и агрохимии, в среднем поступает 3 кг/га N, 1,3 кг/га P_2O_5, 1,5 кг/га K_2O, 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 P_2O_5, 10,3 кг/га K_2O, 25,3 кг/га CaO, 5,0 кг/га MgO и 36 кг/га S (SO_4). 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*, используя данные

табл. 3.5, 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. 4.2.

Таблица 4.2. **Потери элементов питания от вымывания и эрозии на пахотных почвах, кг/га**

Почвы	Элементы питания					
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_4
Потери от вымывания						
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
Потери от эрозии						
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 · 201+ 10 · 105 + 15 · 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 рас-

ход – 90 кг, т. е. общий баланс будет + 25 кг/га (115 – 90), а интенсивность баланса составит 127 % [(115 : 90) · 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. 4.3.

Таблица 4.3. **Оптимальная интенсивность баланса азота в зависимости от продуктивности пашни**

Продуктивность, ц/га к. ед.	Почвы	
	суглинистые и супесчаные на морене	супесчаные на песках и песчаные
	Интенсивность баланса азота, %	
Более 60	130–140	–
51–60	120–130	–
41–50	110–120	120–130
20–40	100–110	100–110

По результатам длительных стационарных полевых опытов Институт агрохимии и почвоведения рекомендует оптимальные параметры интенсивности баланса фосфора и калия в зависимости от содержания их в почвах (табл. 4.4). 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 4.4. **Оптимальная интенсивность баланса в зависимости от обеспеченности почв фосфором и калием**

P_2O_5		K_2O	
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. Применив 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 · 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 · 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 · 3) каждого элемента. Таким образом, усвоится 18–24 кг/га фосфора (300 · 0,06...0,08) и 30–45 кг/га калия (300 · 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 обменного калия. Поступление фосфора и калия за ротацию севооборота сверх расхода делят на норматив (табл. 4.5 и 4.6) и определяют увеличение их содержания в почве. Результат суммируют с исходным содержанием и получают прогноз.

Таблица 4.5. **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	pH_{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	–	–

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. 4.6). 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.

Таблица 4.6. **Нормативы затрат калийных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного калия на 10 мг/кг почвы, кг/га K_2O**

Гранулометрический состав	Интенсивность баланса, %	Исходное содержание P_2O_5, 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
Торфяные	130	В среднем	13	–

Расчет баланса питательных элементов в почвах пахотных земель РУП «Институт почвоведения и агрохимии» показал, что баланс азота в 2011–2015 гг. составил 29,3 кг/га, фосфора – 25,7 и калия – 65,2 кг/га при рентабельности баланса 121, 171 и 154 %. Это позволило поддерживать достигнутое ранее содержание фосфора и калия в пахотном слое почвы при увеличении содержания фосфора на 5 мг с 187 мг/кг в 2008–2011 гг. до 192 мг/кг в 2012–2015 гг. соответственно. В 2011–2015 гг. на 1 га пашни было внесено 263 кг NPK и 10,1 т/га органических удобрений при продуктивности сельскохозяйственных культур 44,9 ц к. ед/га. Для производства продукции земледелия на уровне 50 ц к. ед/га необходимо применять не менее 260–280 кг/га NPK при минимальном внесении 40 кг/га фосфатов.

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 $CaCO_3$ (содержние $CaCO_3$ – 85 %). Из табл. 4.7. находим количество CaO и MgO на 1 га, вносимое с известковыми удобрениями. С 935 кг $CaCO_3$ поступает 280,5 кг CaO (30 · 9,35) и 187 кг MgO (20 · 9,35).

Таблица 4.7. **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**

Удобрения	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%-ной влажности, на 100 кг физической массы)	23	–	17,7–20,6
Сульфат калия	–	–	18,0
Сульфат магния	–	–	18,6
Сульфат натрия	–	–	22,6

По количеству минеральных удобрений на 1 га д. в. определяют поступление CaO, MgO и S в почву. Например, на 1 га планируется внести 65 кг P_2O_5 в виде двойного суперфосфата. С этим количеством P_2O_5 поступает 20 кг CaO (65 · 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 табл. 4.7.

Поступление кальция, магния и серы с органическими удобрениями рассчитывают с учетом насыщенности почвы последними и поступления этих элементов с удобрениями (см. табл. 4.1). Например, при насыщенности органическими удобрениями в севообороте 12 т/га в почву поступит 48 кг/га CaO (4 · 12), 13,2 кг/га MgO (1,1 · 12) и около 2,4 кг/га SO_4 (0,2 · 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 дан-

ные, приведенные в табл. 3.5, рассчитывают показатели выноса по каждой культуре и вычисляют средние значения на 1 га. Потери от вымывания и эрозии находят по табл. 4.2.

При известковании потери кальция за счет вымывания возрастают, особенно на легких почвах. По данным Института почвоведения и агрохимии, на почвах с pH (KC1) 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 (см. табл. 4.2) 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. 4.2. Определяют расход на 1 га.

Сопоставив показатели по приходу и расходу, находят значения баланса и его интенсивность.

5. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВЫ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

5.1. Отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию

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 гидрооксида для нейтрализации кислотности – 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.

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 и капуста 500–700 ц/га выносят с 1 га от 20 до 40 кг CaO; 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 CaO. Больше всего кальция потребляют посевы 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. Недостаток 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 удоб-

рений, 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 щавель, 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 элементов 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. 5.1.

Таблица 5.1. **Оптимальная реакция среды для различных почвенных микроорганизмов**

Основные физиологические группы микроорганизмов	Наименование микроорганизмов	Оптимальные значения pH	Нижняя граница pH
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
	клостридиум	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	–
	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 полуторных оксидов, поэтому при большом содержании первых ухудшается питание растений фосфором.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, он переходит в труднорастворимые формы, и его может недоставать для нормального роста растений, особенно бобовых. В 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.

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

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:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca(HCO_3)_2.$$

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

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2O + 2CO_2,$$

$$Ca(OH)_2 \rightleftarrows Ca^{2+} + 2OH^-.$$

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

$$ППК) + Ca^{2+} + 2HCO_3^- \begin{matrix} Ca^{2+} \\ H^+ \\ H^+ \end{matrix} \rightleftarrows ППК) + 2H_2CO_3, \begin{matrix} Ca^{2+} \\ Ca^{2+} \end{matrix}$$

$$ППК) + Ca^{2+} + 2OH^- \begin{matrix} Ca^{2+} \\ H^+ \\ H^+ \end{matrix} \rightleftarrows ППК) \begin{matrix} Ca^{2+} \\ Ca^{2+} \end{matrix} 2H_2O.$$

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

$$2RCOOH + CaCO_3 \rightarrow (RCOO)_2Ca + H_2O + CO_2,$$

$$2HNO_3 + CaCO_3 = Ca(NO_3)_2 + H_2O + CO_2.$$

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 микробов, с другой – переходом труднодоступных соединений в легкодоступные под влиянием изменения реакции среды.

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, фитофтора.

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 извести 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 извести идет не так интенсивно, как мобилизация азота и фосфора.

Кроме того, при внесении больших доз извести 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 использования 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 магнийсодержащие 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 заболевает 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 извести 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 извести 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 извести. 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. 5.2).

Таблица 5.2. **Влияние известкования на урожайность сельскохозяйственных культур (по обобщенным данным научно-исследовательских учреждений России и Республики Беларусь)**

Культуры	Средние прибавки урожая от известкования, ц/га	
	на сильно- и среднекислых почвах (pH в KCl меньше 5,0)	на слабокислых почвах (pH в KCl 5,4–5,5)
Рожь озимая, овес	2,0–5,0	0,5
Ячмень	2,0–5,0	0,6
Яровая пшеница	2,0–5,0	0,5
Озимая пшеница	3,0–7,0	1,0
Горох	3,0–5,0	1,0
Вико-овсяная смесь (сено)	5,0–10,0	2,4
Клевер (сено)	10,0–15,0	5,0
Кормовая и столовая капуста	75,0–100,0	40,0
Кормовые корнеплоды	25,0–50,0	25,0
Картофель (клубни)	14,0–30,0	5,0
Лен (солома)	2,0–3,0	1,0
Морковь (корнеплоды)	25,0–50,0	15,0
Кукуруза (зеленая масса)	50,0–75,0	20,0

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 – соответственно 20,2, 53 и 107 кг.

Эффективность калийных удобрений тем выше, чем ниже кислотность дерново-подзолистых почв. Опыты, проведенные на Долгопрудной агрохимической опытной станции, показали, что при известковании усиливается потребность картофеля и льна в калийных удобрениях. Так, если при внесении хлористого калия без извести прибавка урожая клубней картофеля составила 10 %, то после известкования она увеличилась до 32 %. Прибавка урожая льноволокна от калийных удобрений без извести была равна 23 %, а после известкования – 36 %.

В среднем по стране оплата урожаем минеральных удобрений на известкованных почвах на 15–20 % выше по сравнению с кислыми. Известкование дает наибольшую отдачу при совместном внесении органических и минеральных удобрений. На фоне извести в навозе усиливаются процессы разложения органического вещества и перехода элементов питания в доступную для растений форму.

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 $CaCO_3$ 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 извести 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 %.

5.3. 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 % $CaCO_3$; гажа (озерная известь) – 80–95 % $CaCO_3$ и др. Из промышленных отходов сланцевая зола содержит 30–50 % CaO, 1,5–4,0 % MgO, а также другие элементы; дефекат – 60–75 % $CaCO_3$, 10–15 % органического вещества, а также N, P_2O_5, K_2O.

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 $CaCO_3$.

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).

Мел – наиболее распространенная в Республике Беларусь карбонатная порода, почти всецело состоящая из $CaCO_3$ (90–100 % 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 % $CaCO_3$, 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 $CaCO_3$), 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. 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.

Известняковая мука. Получается при размоле 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 – Са $(OH)_2$ и $Mg(OH)_2$, 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 гажа 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 переизвестко-

вания 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 гажи или торфотуфа на глубине более 1–2 м. Сапропелевые известняки являются хорошим материалом для известкования почв. Применяются во влажном состоянии.

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 $Ca(OH)_2$ 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.

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 дополни-

тельном 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 – легкоусвояемые 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.

5.4. Дозы, сроки и способы внесения извести

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. 5.3.

Таблица 5.3. **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 5,84. В почвах районов, загрязненных стронцием-90, где кальций является наиболее существенным антагонистом стронция-90, 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.

Почвы, сильно нуждающиеся в известковании, известкуют в первую очередь, средненуждающиеся – 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.

В севооборотах с высоким уровнем насыщения льном, картофелем и люпином известкование проводят при pH_{KCl} 5,5 и ниже (на песчаных почвах – 5,25 и ниже). Рекомендуется вносить известь непосредственно под эти культуры или за четыре и более лет до их посева. В севооборотах с чувствительными к кислотности культурами в первую оче-

редь 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 $CaCO_3$ = Нг · 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:

$$\text{Доза } CaCO_3 = \frac{H_Г \cdot 500 \cdot 3 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = H_Г \cdot 1{,}5.$$

Дозы известковых удобрений можно также определять 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. 5.4 и 5.5, для сенокосов и пастбищ – в табл. 5.6. 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 5.4. **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**
Легко- и среднесуглинистые	2,0 и менее	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	3,5
	Более 2,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Тяжелосуглинистые и глинистые	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/км^2 цезием-137 или 0,15–0,29 Ки/км^2 стронцием-90.

Дозы известковых удобрений на этих почвах зависят от плотности загрязнения радионуклидами. При первом уровне загрязнения (1–5 Ки/км^2 цезия-137 и 0,15–0,3 Ки/км^2 стронция-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. При втором уровне загрязнения (5,0–40,0 Ки/км^2 цезия-137 и 0,30–3,0 Ки/км^2 стронция-90) дозы известковых удобрений устанавливаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один прием.

Таблица 5.5. **Средние дозы известковых удобрений (т/га $CaCO_3$) для известкования кислых дерново-подзолистых и торфяных почв при плотности загрязнения радионуклидами 5,0–40,0 Ки/км^2 цезием-137 или 0,30–3,0 стронцием-90**

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	–	–
	1,51–3,0	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	–
	Более 3,0	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–
Связносупесчаные	2,0 и менее	12,0	10,5	10,0	9,0	8,0	6,5	5,0	4,0
	Более 2,0	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 2,0	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)*	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. (19,0)* – для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

Доза известкового удобрения в физической массе ($Д_ф$) определяется исходя из содержания карбонатов (действующего вещества известкового удобрения), а также влажности и гранулометрического состава удобрения и поправочного коэффициента на вид мелиоранта:

$$Д_ф = \frac{Д_о \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{М(100 - В)(A_1 + 0{,}7A_2 + 0{,}5A_3 + 0{,}2A_4)},$$

где $Д_о$ – расчетная доза $CaCO_3$, т/га;

М – содержание действующего вещества, в пересчете на $CaCO_3$, %;

В – 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

$$Д_ф = Д_о \cdot 10^4 : М : (100 – В) \cdot 0,8,$$

для мягких мелиорантов:

$$Д_ф = Д_о \cdot 10^4 : М : (100 – В).$$

Применительно к доломитовой муке, у которой содержание частиц менее 1 мм приближается к 100 %, а влажность незначительна, можно использовать формулу

$$Д_ф = Д_о : 0,95.$$

Внесение пылевидных мелиорантов осуществляется при скорости ветра не более 6 м/с. При определении скорости ветра пользуются данными метеостанций. Внесение мелиорантов в период плохой проходимости машин не допускается.

Необходимо соблюдать рабочую скорость движения машин по внесению мелиорантов, установленную ширину рассева и параллельность между смежными проходами.

При известковании запрещается вносить мелиоранты машинами с пневматическим приводом рабочих органов при температуре воздуха ниже –30 ºС, давлении в цистерне с мелиорантом выше 0,15 Па (1,5 кГс/м^2), при неисправных моновакуумметрах.

Внесение мелиорантов пневматическими разбрасывателями с уклоном более 7º запрещается. На полях с более крутыми склонами необходимо использовать центробежные разбрасыватели.

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).

Таблица 5.6. **Средние дозы известковых удобрений (т/га $CaCO_3$) для известкования кислых почв сенокосов и пастбищ**

Группы почв	pH_{KCl}							
	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 pH_{KCl} 4,0 и ниже.

При составлении проекта по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель в первую очередь включаются почвы I и II групп кислотности. При определении потребности в мелиорантах используются средние дозы $CaCO_3$ (т/га) по группам кислотности.

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 талыми 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, нужда-

ются 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 «Национально-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.

Для сохранения и повышения плодородия почв в Республике Беларусь ежегодно необходимо известковать 474 тыс. га пахотных и луговых земель, для чего необходимо 2,2 млн. т доломитовой муки, дефеката и сапропеля в пересчете на $CaCO_3$.

6. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

6.1. Классификация и свойства минеральных удобрений

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 равна 152 кг/га [(70 · 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.

Влажность не должна превышать значения, утвержденные государственным стандартом и техническими условиями. Так, содержание влаги в сульфате аммония не должно превышать 0,6 %, в аммиачной селитре и мочевине – 0,2–0,3 %, максимальная влажность водорастворимых фосфорных удобрений в зависимости от вида должна составлять от 3 до 5 %, калийных – от 1 до 4 %, известняковой муки – 1,5–4 %. При отклонении влажности минеральных удобрений от стандартной существенно меняются их физико-механические свойства, снижается качество.

Гигроскопичность – способность минеральных удобрений поглощать влагу из воздуха – оценивается по 10-балльной системе. Сильной гигроскопичностью обладают кальциевая селитра (до 9,5 балла), аммиачная селитра (9,3); средне- и слабогигроскопичны мочевина (3,6), двойной гранулированный суперфосфат (4,7), хлористый калий (3,2–4,4). При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы становятся непрочными, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость удобрений. Условия хранения, транспортировки удобрений, их упаковка зависят от их гигроскопичности. Без тары допускается перевозить и хранить только слабогигроскопичные удобрения с баллом 3 и ниже, сильногигроскопичные удобрения (7–10 баллов) хранят в герметичной таре (полиэтиленовых мешках).

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

Слеживаемость удобрений зависит от их влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, а также условий и продолжительности хранения. Слеживаемость определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по 7-балльной шкале. К сильнослеживающимся удобрениям относятся карбамид (с гранулами 0,2–1 мм) – 7 баллов, мелкокристаллический хлористый калий – 6 баллов. Слеживаемость карбамида, сульфата аммония, аммиачной селитры (фракция 1–3 мм) оценивается соответственно 1–2, 2–3, 3–4 баллами. Практически не слеживаются сульфат калия и калимагнезия. Уменьшению слеживаемости удобрений способствует выпуск их в виде крупных кристаллов и гранул, а также хранение и транспортировка в герметичной таре.

Рассеиваемость зависит от гранулометрического состава, сыпучести и прочности гранул. Оценивается по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость, тем выше балл. Равномерность распределения

удобрений по поверхности почвы зависит от сыпучести удобрений и конструкции машин, вносящих удобрения.

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

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

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

Насыпная плотность (объем 1 т в 1 $м^3$) учитывается при проектировании складских помещений, бункеров. Зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления верхних слоев.

6.2. Азотные удобрения

6.2.1. Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве

Азоту принадлежит ведущая роль в повышении урожаев сельскохозяйственных культур. Он является важным биологическим элементом и играет исключительную роль в жизни растений. Азот входит в состав белков, являющихся главной составной частью цитоплазмы и ядра клетки, аминокислот, нуклеиновых кислот, хлорофилла, алкалоидов, фосфатидов, многих витаминов, гормонов и других биологически активных веществ. Все ферменты, катализирующие процесс обмена

веществ в растениях, – белковые вещества, поэтому недостаточное снабжение растений азотом ослабляет образование белков. Это приводит к замедлению процессов биосинтеза, обмена всех групп химических соединений и резкому ослаблению интенсивности фотосинтеза, что в конечном счете неизбежно снижает урожайность.

Азот содержится в растениях в сравнительно небольших количествах (0,5–4 % сухого вещества.). Определение общего азота необходимо для того, чтобы знать количество сырого белка в анализируемой продукции для установления выноса его с урожаем сельскохозяйственных культур и других целей.

При оценке качества растительной продукции чаще определяют именно сырой белок, а не «чистый» белок, поскольку его определять трудно. Сырой белок (по рекомендациям РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси) для всех сельскохозяйственных культур рассчитывается умножением содержания общего азота на коэффициент 6,25.

Суточная потребность человека в белке составляет 80–100 г. Питательная ценность кормов во многом зависит от содержания белка. Корма на каждую кормовую единицу должны быть обеспечены 100 г переваримого протеина, т. е. корма, которые содержат на 1 кормовую единицу менее 100 г переваримого протеина, относятся к кормам, имеющим недостаточную белковую питательность, более 100 – высокую.

Качество корма по содержанию сырого белка оценивается по 20-балльной шкале: при количестве сырого белка 15 % и более (в расчете на сухое вещество) – 20 баллов; 14,9–12,7 % – 16 баллов; 12,6–11,7 % – 12 баллов; 11,6–9,9 % – 9 баллов; 9,8–8,3 % – 6 баллов; 8,2–6,1 % – 3 балла; 6 % и менее – 0 баллов.

Наряду с общим содержанием для оценки качества растениеводческой продукции большое значение имеет определение аминокислотного состава белков. Особую роль играют незаменимые аминокислоты (лизин, триптофан, лейцин, изолейцин, валин, метионин, фенилаланин, треонин), которые не могут синтезироваться в организме человека и животных и должны поступать с пищей и кормом.

Многие продукты часто содержат недостаточное количество незаменимых аминокислот. Так, суточная потребность человека в лизине составляет 2–4 г, а в 100 г пшеничного хлеба содержится только 0,124 г лизина. Если человек потребляет 600 г хлеба в день, то он удовлетворит потребность в лизине всего на 20 %. Поэтому белки разных

продуктов неравноценны. За 100%-ную биологическую ценность приняты белки молока и куриного яйца. Ценность белков пшеницы составляет 52 %, а ржи – 75 %.

Условия азотного питания оказывают существенное влияние на рост и развитие растений. При достаточном снабжении растений азотом в них усиливается синтез органических азотистых веществ, образуются мощные листья и стебли с интенсивно-зеленой окраской, растения хорошо растут и кустятся, улучшается формирование и развитие органов плодоношения. Это способствует повышению урожайности и содержанию в них белка.

Однако при одностороннем избытке азота задерживается созревание растений, они развивают большую вегетативную массу, но мало зерна, клубней и корнеплодов; у зерновых, льна и других культур избыток азота может вызвать полегание. При этом может ухудшаться качество растениеводческой продукции. В клубнях картофеля снижается содержание крахмала, в корнеплодах сахарной свеклы – сахара и возрастает содержание «вредного» в процессе сахароварения небелкового азота, в кормах и овощах накапливаются потенциально опасные для человека и животных нитраты.

Источниками азота для растений являются почвенный азот, органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями, свободноживущими азотфиксирующими организмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами.

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 Беларуси варьирует в значительных пределах и зависит от типа почвы, гранулометрического состава, запасов гумуса, режима увлажнения, степени окультуренности почвы.

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 прак-

тически недоступен растениям и переходит в усвояемую для растений форму лишь после минерализации.

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.

Разложение азотистых органических соединений в почве можно представить в виде следующей схемы: белки → гуминовые вещества → аминокислоты → амиды → аммиак→ нитриты → нитраты.

Скорость минерализации органических веществ почвы, основного запасного фонда азота, зависит от условий внешней среды: температуры, влажности почвы, ее кислотности, характера самого органического вещества. В связи с этим количество образующихся минеральных форм азота динамично. Максимум его накапливается в весенний период при благоприятных режимах температуры и влажности для процессов нитрификации. Именно в этот период в дерново-подзолистых автоморфных почвах накапливается его 45–85 кг/га в зависимости от гранулометрического состава и степени окультуренности почвы.

Однако образующиеся в процессе нитрификации нитраты, будучи подвижными соединениями, могут вымываться из почвы, а также подвергаться биологической денитрификации – образованию газообразных форм азота (NO, N_2O и N_2), в результате чего теряется азот почвы. Восстановление нитратов денитрифицирующими бактериями идет через ряд промежуточных этапов: $HNO_3 \rightarrow HNO_2 \rightarrow (HNO)_2 \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ (нитрат → нитрит→ гипонитрат → закись азота → молекулярный азот).

Исследования, проведенные в последнее время, показали, что потери азота в газообразной форме могут происходить и при процессах аммонификации и нитрификации.

Потери азота могут происходить как при прямой денитрификации, так и косвенной, или «хемоденитрификации», которая связана с образованием газообразных оксидов азота и молекулярного азота в результате химических реакций: при разложении промежуточных продуктов нитрификации – нитритов и гидроксиламина (особенно при кислой реакции); при взаимодействии нитратов с NN_4^+, α-аминокислотами, ионами Fe^{2+} и Mn^{2+} и с органическими веществами почвы.

Процессы денитрификации усиливаются при недостатке кислорода в почве (ее уплотнении, при высоком содержании влаги, большом ко-

личестве легкоминерализуемых органических веществ, заметном усилении дыхания – образование CO_2). В нормальных условиях денитрификация усиливается с увеличением глубины почвы. Особенно сильно она протекает в нижних слоях пахотного горизонта.

Таким образом, отрицательная сторона передвижения нитратов с просачивающейся водой заключается не только в том, что азот удаляется из зоны корней, но и в том, что нитраты перемещаются в подпочву, где находится основная зона усиленной денитрификации.

От денитрификации может ежегодно теряться около 8 % минерального азота почвы и 15–25 % азота минеральных удобрений. Размер потерь азота от денитрификации мало зависит от формы применяемых азотных удобрений. В условиях Беларуси в газообразной форме теряется в среднем 25 % азота, вносимого с минеральными и органическими удобрениями.

Цикл азота в биосфере представлен на рис. 6.1.

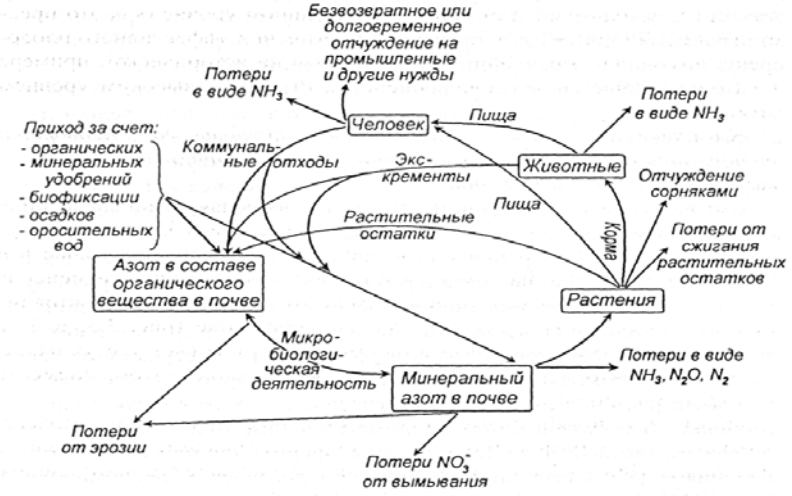

Рис. 6.1. Цикл азота в биосфере при интенсивной обработке почвы (В. Г. Минеев)

Вымывание нитратного азота из пахотного слоя почвы можно предотвратить внесением доз азотных удобрений (по времени и количеству), соответствующих потребности культур в азоте на протяжении вегетации. Количество азота, вносимого с органическими и минераль-

ными удобрениями, должно немного превышать вынос с урожаями сельскохозяйственных культур.

Поступившие в растения минеральные формы азота (нитраты, нитриты, аммоний) проходят сложный цикл превращений, в конечном счете включаясь в состав органических азотистых соединений – аминокислот, амидов и, наконец, белков. Нитраты и нитриты не способны вступать в реакцию с кетогруппами органических карбоновых кислот, поэтому для образования аминокислот они в растениях в процессе ферментативного восстановления превращаются в аммиак.

Если углеводов достаточно, аммиачный азот, поступивший в растения из почвы или образовавшийся при восстановлении нитратов, присоединяется к органическим кислотам – продуктам неполного окисления углеводов (щавелевоуксусной и кетоглутаровой или фумаровой), образуя аминокислоты – аспаргиновую и глутаминовую. Этот процесс называется прямым аминированием и является основным способом образования аминокислот. Все другие аминокислоты, входящие в состав белка (более 20), синтезируются переаминированием аспаргиновой и глютаминовой кислоты и их амидов – аспаргина и глютамина, а также в результате других специфических реакций. В процессе переаминирования под воздействием соответствующих ферментов происходит перенос аминогрупп указанных и других кислот на другие кетокислоты.

Переаминирование имеет большое значение для синтеза белков, а также для дезаминирования аминокислот. Дезаминирование – отщепление аминогруппы от аминокислоты, в результате чего образуется аммиак и кетокислота. Последняя перерабатывается растением в углеводы, жиры и другие вещества, аммиак вновь используется для синтеза аминокислот. 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 белка на аминокислоты (отщепление аммиака под действием ферментов). В молодых растущих органах и растениях белков накапливается больше, чем распадается, по мере старения, наоборот, расщепление идет быстрее, чем синтез.

Как показали исследования, аммиачный и нитратный азот при определенном сочетании внутренних и внешних условий – равноценные источники азотного питания растений. При нейтральной реакции

аммиачные соли усваиваются растениями лучше, а при кислой хуже, чем нитратные образования аминокислот, они в растениях в процессе ферментативного восстановления превращаются в аммиак.

6.2.2. Классификация, получение, свойства и особенности применения азотных удобрений

Азотные удобрения в зависимости от содержащихся в них форм азота подразделяются на **шесть групп**: **нитратные** (натриевая и кальциевая селитра); **аммонийные** (сульфат аммония, хлористый аммоний); **аммонийно-нитратные** (аммонийная селитра); **амидные** (мочевина); **аммиачные** (безводный аммиак, аммиачная вода); **карбамид-аммонийно-нитратные** (КАС).

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. Азот получают, пропуская воздух в генератор с горящим коксом. Источником водорода служит природный газ, нефтяные и коксовые газы. Из смеси азота и водорода (в соотношении 1:3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак:

$$N_2 + 3H_2 = 2NH_3.$$

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 и кальциевая селитра – в Беларуси не применяются, однако знание их свойств и поведения в почве полезно для понимания особенностей применения других азотных удобрений.

Натриевая селитра ($NaNO_3$) – содержит 16 % азота и 26 % натрия. Выпускаемое удобрение является побочным продуктом при производстве азотной кислоты из аммиака и представляет собой мелкокристаллическую соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимую в во-

де. Гигроскопична и при неправильном хранении может слеживаться. В сухом состоянии хорошо рассеивается.

Кальциевая селитра ($Ca(NO_3)_2$) содержит 13–15 % азота. Получается при нейтрализации азотной кислоты известью, а также в качестве побочного продукта при производстве комплексных удобрений способом азотнокислотной переработки фосфатов. 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 водонепроницаемой упаковке.

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):

$$\text{ППК}\begin{matrix}Ca^{2+}\\Ca^{2+}\end{matrix} + 2NaNO_3 \rightleftarrows \text{ППК}\begin{matrix}Na^{+}\\Na^{+}\end{matrix} + Ca(NO_3)_2\,,$$

$$\text{ППК}\begin{matrix}H^{+}\\H^{+}\\H^{+}\end{matrix} + Ca(NO_3)_2 \rightleftarrows \text{ППК}\begin{matrix}Ca^{2+}\\Ca^{2+}\\H^{+}\end{matrix} + 2HNO_3\,.$$

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.

К **аммонийным удобрениям** относятся сульфат аммония, хлористый аммоний, а также углекислый аммоний. Более широко из этих форм удобрений применяется сульфат аммония.

Сульфат аммония, или сернокислый аммоний ($(NH_4)_2SO_4$), получают улавливанием серной кислотой аммиака из газов, образующихся при коксовании каменного угля, или нейтрализацией синтетическим аммиаком отработанной серной кислоты на различных химических производствах. Большое количество сульфата аммония вырабатывают в качестве побочного продукта при производстве капролактама. 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:

$$\text{ППК)}\begin{matrix}Ca^{2+}\\H^{+}\end{matrix} + (NH_4)_2SO_4 \rightleftarrows \text{ППК)}\begin{matrix}NH_4^{+}\\NH_4^{+}\\H^{+}\end{matrix} + CaSO_4.$$

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 малобуферных 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 1 ц подкисляющего действия сульфата аммония требуется 1,3 ц $CaCO_3$.

Хлористый аммоний (NH_4Cl) – мелкокристаллическая соль белого цвета. Содержит 24–25 % N. Побочный продукт при производстве 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 1 ц подкисляющего действия 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 1 ц подкисляющего действия 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:

$$\text{ППК)}\begin{matrix}Ca^{2+}\\Ca^{2+}\end{matrix} + 2NH_4NO_3 \rightleftarrows \text{ППК)}\begin{matrix}NH_4^+\\NH_4^+\\Ca^{2+}\end{matrix} + Ca(NO_3)_2,$$

$$\text{ППК)}\begin{matrix}H^+\\H^+\\Ca^{2+}\end{matrix} + NH_4NO_3 \rightleftarrows \text{ППК)}\begin{matrix}NH_4^+\\H^+\\Ca^{2+}\end{matrix} + HNO_3.$$

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 куль-

тур, 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.

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*, $CO(NH_2)_2$) содержит 46 % азота и является самым концентрированным из твердых азотных удобрений. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлении и температуре:

$$2NH_3 + CO_2 = CO(NH_2)_2 + H_2O.$$

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. В почве карбамид полностью растворяется почвенной влагой и под влиянием удобрений, выделяющих фермент уреазу, за два-три дня аммонифицируется и превращается в углекислый аммоний:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3.$$

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

$$(NH_4)_2CO_3 \rightarrow NH_4HCO_3 + NH_3.$$

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:

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O = NH_4HCO_3 + NH_4OH.$$

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:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O,$$
$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3.$$

Для устранения 1 ц подкисляющего действия $CO(NH_2)_2$ требуется 0,83 ц $CaCO_3$.

Таким образом, мочевина является 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. Поверхностные подкормки озимых культур, лугов и пастбищ мочевиной менее эффективны по сравнению с аммонийной селитрой из-за потерь аммиака, а также более медленного действия мочевины, чем аммонийной селитры. Поэтому мочевину, как при основном внесении, так и при подкормке, следует сразу заделывать в почву. Эффективны также некорневые подкормки зерновых культур в период вегетации, особенно при возделывании их по энергосберегающим технологиям, 10–15%-ными растворами мочевины с добавлением ретардантов, гербицидов и пестицидов.

Аммиачные удобрения. К жидким аммиачным удобрениям относятся безводный аммиак и 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/см^3 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 нейтрализации 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 °С, а также весной перед севом. На почвах легкого гранулометрического состава эти удобрения желательно 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 содержания последнего в почве.

Карбамид-аммонийно-нитратное удобрение (КАС) представляет собой водный раствор карбамида и аммиачной селитры ($CO(NH_2)$ + + NH_4NO_3) (табл. 6.1). 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 табл. 6.2.

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.

Таблица 6.1. **Состав и свойства растворов КАС**

Свойства	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Состав по массе, %:			
NH_4NO_3	40,1	42,2	43,3
$CO(NH_2)_2$	30,0	37,7	36,4
H_2O	29,9	25,1	20,3
Плотность при 15,6 °С, т/м^3	1,283	1,303	1,327
Температура выпадения кристаллов, °С	–18	–10	–2

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 мочевина, 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 внутрипочвенного внесения используют ПЖУ-2,5, ПЖУ-5, РОСА. Можно также использовать машину РЖТ-4 М, выпускаемую Оршанским тракторoремонтным 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 озимых зерновых культур, когда стоит прохладная погода (ниже 10 ºС), 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 ºС 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.

Таблица 6.2. **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

Во избежание ожогов подкормки проводят в более поздние фазы развития зерновых в утренние и вечерние часы (температура воздуха не должна превышать 18 ºС). 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, мочевина, 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 проникать 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 обводненности тканей растений (у завядших растений оно ослабевается).

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

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 последние время возрастает.

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, которые наряду с макроэлементами содержат биологически активные соединения или регуляторы роста.

Карбамид с регулятором роста растений ($CO(NH_2)_2$) 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.

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 %. Рекомендуется 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 содержит 20,5–21 % азота и 24 % серы, связующие и биологически активные препараты Гидрогумат или Оксигумат. 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, однолетние и многолетние травы). Его применяют в основную заправку почвы, а под многолетние травы – в один (весной) или два приема под каждый укос.

Жидкое азотное 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 ^{o}C составляет 1,275–1,32 г/см^{3}, pH – 8,5–8,9, температура кристаллизации растворов – 13–20 ^{o}C, замерзания – 26,5 ^{o}C. 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.

6.2.3. 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 – 30–40 кг.

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

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

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

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, осо-

бенности 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 с соединениями азота, мечеными стабильным изотопом азота ^{15}N, позволили установить, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрений 30–50 % азота. Однако при внесении азотных удобрений усиливаются минерализация почвенного азота и усвоение его растениями. Коэффициенты использования азота различных форм азотных удобрений существенно не различаются, за исключением экспериментальных условий их применения. Исследования ВИУА с ^{15}N показали, что растения усваивают больше азота из почвы, чем из минеральных удобрений.

Азот удобрений интенсивнее, чем азот почвы, потребляется растениями в первые 3–4 недели вегетации, затем усвоение его снижается, а через 40–50 дней (у зерновых к фазе выколашивание – начало цветения) в основном прекращается. Потребление азота растениями из почвы продолжается до конца вегетации, поэтому к уборке доля его в общем выносе несколько повышается.

Аммиачные формы азотных удобрений способствуют лучшему усвоению азота почв по сравнению с нитратными. Отмечено также, что известкование, независимо от формы удобрений, значительно увеличивает мобилизацию и усвоение растениями азота почвы.

Скорость нитрификации аммиачного и амидного азота, внесенного с удобрениями, зависит от типа почвы и степени ее окультуренности. На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах нитрификация амидных и аммонийных азотных удобрений протекает значительно энергичнее, чем на слабоокультуренных.

Рядом исследований установлено, что при низкой температуре почвы минерализация и иммобилизация азота тормозятся, снижается также поглотительная способность растений к азоту и фосфору (особенно нитратного азота). При низких температурах аммонийные формы более эффективны, чем нитратные. Это связано с тем, что при низких температурах поступление и восстановление нитратного азота затрудняется, а аммонийный азот уже в корнях включается в состав аминокислот и белков. Учитывая, что основные превращения азота удобрений происходят в первые 2–3 недели после их внесения, повышенная концентрация нитратов в почве при низких температурах и избыточном увлажнении почв может привести к увеличению потерь азота в 2–3 раза и более.

Исследования, проведенные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии», показали, что при температуре 17–20 ºС превращение аммонийного и амидного азота в окисленную форму в дерново-подзолистых почвах происходит в основном в течение 30 суток.

При низкой температуре (5–7 ºС) интенсивность процесса аммонификации значительно выше интенсивности нитрификации. В почве при низких температурах больше всего азота в нитратной форме накапливается при внесении аммиачной 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.

Таким образом, благодаря нитрификации аммиачных, аммонийных и амидных удобрений в почвах азот используется растениями в основном в форме нитратов. Уже в корнях при участии фермента нитратредуктазы происходит восстановление нитратов до аммиака, который используется на образование аминокислот и амидов.

Если в почве мало минерального азота и он в растения поступает в незначительном количестве, то этот азот почти полностью восстанавливается до аммиака, который уже в корнях превращается в органические соединения (аминокислоты, амиды и др.). При усилении обеспеченности растений азотом все большее количество его поступает в надземную часть в минеральной форме, где он усваивается. Исследо-

вания показали, что при высоком уровне азотного питания у пшеницы в корнях восстанавливалось 3 % нитратного азота, у кукурузы – 15 %, остальное – в надземной массе.

При слишком высоком уровне питания, когда фермент нитратредуктаза не справляется с восстановлением нитратов, в вегетативных органах растений, в частности, в овощах, может накапливаться большое количество нитратов.

В семенах растений нитратов обычно не накапливается. Это связано с тем, что нитраты восстанавливаются на пути их передвижения в репродуктивные органы. Кроме того, сами репродуктивные органы, в частности, зерновки пшеницы и колосковые чешуйки, обладают довольно высокой нитратредуктазной активностью. Как показали исследования, имеются соединения, которые могут повышать активность фермента нитратредуктазы. Такую способность на ячмене проявил цитокинин 6-бензиламинопурин. На активность цитокининов оказывают влияние регуляторы роста из группы брассиностероидов (эпин, эмистим и др.), что способствует усилению поступления азота в растения.

Считается, что активность фермента нитратредуктазы является узким местом в цепи превращения неорганического азота, поступающего в растения, и при определенных условиях может лимитировать эффективное использование 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. Имеются данные, что короткостебельные сорта пшеницы имеют повышенную продуктивность фотосинтеза и отличаются повышенной способностью к поглощению азота после цветения. Отсюда вполне вероятно, что между этими двумя особенностями короткостебельных сортов имеется взаимосвязь, ибо, как известно, продуктивное использование поглощенного растениями азота невозможно без повышения продуктивности фотосинтеза, а фотосинтез усиливается при усилении поглощения азота корнями. 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», показали, что наиболее эффективными формами азотных удобрений на зерновых культурах при дробном внесении являются КАС и аммиачная селитра, картофеле – сульфат аммония и мочевина, 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 настоящее время в земледелии Беларуси наметился переход от техногенной к адаптивной интенсификации, характеризующейся энергосбережением и охраной окружающей среды.

Существенно снизить затраты азотных удобрений на получение экологически обоснованных урожаев сельскохозяйственных культур можно за счет дробного внесения и корректировки доз в основное внесение и в подкормки на основе данных содержания азота в почве и

растениях. Теоретической основой диагностики условий азотного питания сельскохозяйственных культур является установленная зависимость урожайности и показателей качества продукции от содержания азота в почве и растениях.

Внесение повышенных доз азота, особенно на ранних стадиях роста зерновых, льна и других сельскохозяйственных культур, ведет к полеганию растений, снижению урожайности и затруднению в уборке. В Германии, например, раннее полегание зерновых культур во время цветения снизило урожайность по сравнению с контрольным на 27 ц/га.

Одностороннее, повышенное внесение азотных удобрений способствует и развитию болезней у зерновых культур прямым или косвенным путем. При расчете доз азота следует учитывать почвенные и погодные условия, действие предшественника и другие агротехнические факторы.

Большое влияние на урожайность оказывают сроки внесения азотных удобрений: для озимых зерновых культур – с возобновлением вегетации весной, а у яровых зерновых – до посева. С возрастающим уровнем урожайности подкормка в конце фазы кущение – начало трубкования приобретает большее значение. В Германии, за исключением пивоваренного ячменя, для всех зерновых культур применяют дробное внесение азотных удобрений. В этой стране было принято постановление о принципах при применении удобрений, согласно которым при определении доз азотных удобрений необходимо учитывать содержание доступного минерального азота в почве и применять для правильного внесения удобрений весной научно обоснованные методы прогнозирования потребности сельскохозяйственных культур в азоте.

Наиболее широкое распространение в Германии, США, Канаде получило определение в почве минерального азота в начале вегетации растений в слое 0–90 см. Найденное количество (от 15 до 85 кг N на 1 га и более) вычитают из данного или нормативного значения, которое устанавливается опытами по удобрению для разных местностей Германии. Для более точного определения потребности растений зерновых культур от конца кущения до колошения в азоте применяется растительная диагностика с помощью экспресс-методов для определения нитратов.

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.

При локализации удобрений аммонийный азот меньше подвергается необменному поглощению почвой, что способствует его лучшему использованию. Повышенное содержание аммонийного азота в ленте удобрений замедляет нитрификацию и способствует сокращению потерь азота за счет вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя. Вокруг очага азотных удобрений в несколько раз возрастает мобилизация почвенного азота. 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. 6.3).

Таблица 6.3. **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

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.

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).

Таким образом, многолетние экспериментальные исследования, проведенные в Беларуси, свидетельствуют, что рост продуктивности растениеводства на всех угодьях и почвенных разновидностях теснейшим образом связан со снабжением растений азотом. Оптимизация азотного режима почв обусловлена, с одной стороны, увеличением органического вещества и соответственно валовых запасов азота, насыщением до оптимального уровня севооборотов бобовыми культурами для использования биологического азота как наиболее дешевого и экологически безопасного из всех видов азота, используемых растениями. С другой – регулированием процессами минерализации органического вещества, решением проблемы более рационального использования азотных удобрений с учетом ассортимента, почвенно-растительной диагностики азотного питания растений, предотвращением непроизводительных потерь, вызывающих загрязнение окружающей среды.

6.3. Фосфорные удобрения

6.3.1. Роль фосфора в питании 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 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 усвояющей 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 запасающим 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 ºС) затрудняется использование растениями фосфора. Исследованиями установлено, что понижение температуры до 5–7 ºС 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, проведенные в США, 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 остеоспороз 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.

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.

6.3.2. Месторождения фосфорного сырья, способы получения, 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. К водорастворимым относятся простой и двойной суперфосфат и комплексные удобрения (аммонизированный суперфосфат, аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, карбоаммофоска, кристаллин и др.), к 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%-ной 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 ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 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: $Ca(PO_4)_2 \cdot CaF_2 + 7H_2SO_4 + 3H_2O = 3Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 7CaSO_4 + 2HF$. В результате образуется водорастворимый однозамещенный фосфат кальция $Ca(H_2PO_4)_2$ 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.

При нейтрализации свободной кислотности суперфосфата аммиаком получают аммонизированный суперфосфат с содержанием 4 % азота и 25 % P_2O_5 (аммонизированный суперфосфат высшего сорта содержит 7–8 % азота и 30–33 % P_2O_5).

Двойной суперфосфат ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$) 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:

$$2Ca_5F(PO_4)_3 + 14H_3PO_4 + 10H_2O = 10Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2HF.$$

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.

Цитратнорастворимые удобрения. Преципитат ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) содержит 27–38 % P_2O_5. Порошок белого или светло-серого цвета. Получают преципитат нейтрализацией фосфорной кислоты известковым молоком или мелом:

$$H_3PO_4 + Ca(OH)_2 = CaHPO_4 \cdot 2H_2O.$$

Преципитат получают так же, как продукт отхода желатинового производства. В воде не растворяется, но растворим в лимоннокислом 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.

Термофосфаты $Na_2O \cdot 3CaO \cdot P_2O_5 + SiO_2$ составляют особую группу фосфатов, содержащих 20–30 % лимоннорастворимого фосфора в расчете на P_2O_5. Их получают спеканием и сплавлением при высокой температуре (1200–1400 °С) природных фосфатов с содой, сульфатом натрия, кизеритом, бардяным углем, а также сплавлением с магнийсодержащим сырьем. К группе термических фосфатов относят также шлаки (томасшлак, мартеновский шлак), обесфторенный фосфат и др. Большое распространение термофосфаты получили на Западе.

Термофосфаты являются перспективными удобрениями. Это связано с тем, что они могут применяться на всех почвах и под все культуры, их можно производить из природных фосфатов, непригодных для непосредственного внесения в почву, а также трудно поддающихся

химической переработке для получения водорастворимых фосфорных удобрений.

В Германии из термофосфатов широкое распространение получил ренаний фосфат (25–30 % P_2O_5), получаемый спеканием природных фосфатов с содой или сульфатом натрия, в Польше – супертомасин (27–29 % P_2O_5), который получают спеканием при температуре 1500 °С фосфоритов с 20 % соды и добавкой доменного шлака. Во Франции выпускается плавленый фосфат под названием фоспаль (27–29 % P_2O_5), получаемый прокаливанием при относительно невысоких температурах (550–600 °С) измельченного природного алюмокальцийфосфата, импортируемого из Сенегала. Это удобрение применяется отдельно или в составе смешанных удобрений. По данным кафедры агрохимии БГСХА, на дерново-подзолистых почвах под озимую рожь и ячмень действие фоспаля составляло около 70 % от двойного суперфосфата.

Фосфатшлак мартеновский ($Ca_4P_2O_9 \cdot CaSiO_3$) – побочный продукт переработки в мартенах богатых фосфором чугунов. Тонкий, тяжелый, пылящий порошок черного цвета. Фосфатшлак марки ШФ-10 должен содержать не менее 10 % усвояемого фосфора, 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.

Томасшлак ($4CaO \cdot P_2O_5 + 4CaO \cdot P_2O_5 \cdot CaSiO_3$) по свойствам аналогичен мартеновскому шлаку. Он является побочным продуктом переработки богатых фосфором чугунов на сталь и железо по щелочному способу Томаса. Томасшлак содержит 14 % усвояемого фосфора (P_2O_5). В мировом производстве фосфорных удобрений томасшлак занимает значительное место, но в странах СНГ используется мало.

Обесфторенный фосфат содержит 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 томасшлак, 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 размолом 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 синеет. 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.

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 плавленые 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.

6.3.3. 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^-, CI^-, 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:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaHPO_4 \cdot 2H_2O + 2CO_2.$$

На кислых почвах, кроме того, образуются труднодоступные растениям фосфаты железа и алюминия:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2A1(OH)_3 = 2A1PO_4 + Ca(OH)_2 + 4H_2O,$$
$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Fe(OH)_3 = 2FePO_4 + Ca(OH)_2 + 4H_2O.$$

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 органоминеральных 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 известкование 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 pH 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.

6.3.4. 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 вне-

сении 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.

Таким образом, для получения высокого урожая хорошего качества необходимо сбалансированное минеральное питание растений.

6.4. Калийные удобрения

6.4.1. Роль калия в жизни растений

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 нарушается весь азотный обмен. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом.

Калий находится почти во всех органах и тканях растений, но чаще всего в неодинаковых количествах. Так, в соломе зерновых культур его 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.

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 и объясняет его большое значение в повышении зимостойкости и засухоустойчивости растений. Хорошее калийное питание предотвращает развитие грибных заболеваний. У зерновых 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.

Большое значение калия связано с содержанием в растениях радиоактивного изотопа калия ^{40}К. На его долю приходится 0,011 %, ^{39}К – 93,08 и ^{41}К – 6,91 %. ^{40}К 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}К. 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).

Корма считаются оптимальными по содержанию калия при содержании 0,7–1 % (в расчете на сухое вещество).

6.4.2. Месторождения калийных солей, способы получения, состав и свойства калийных удобрений

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 в СНГ 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.

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 флатационным 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.

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:

$$2KCl + 2MgSO_4 = K_2SO_4 \cdot MgSO_4 + MgCl_2,$$
$$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 + 2KCl = 2K_2SO_4 \cdot MgCl_2.$$

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.).

40%-ная калийная соль ($KCl + KCl \cdot NaCl$) – кристаллическая соль серого цвета с включением розовых кристаллов. Получается механиче-

ским смешиванием хлористого калия с тонкоразмолотым сильвинитом. Содержит 40 % K_2O. Хорошее удобрение для культур, отзывчивых на натрий и малочувствительных к хлору (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды). Для растений, чувствительных к избытку хлора, калийная соль менее пригодна, чем хлористый калий.

6.4.3. 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:

$$\text{ППК)}\ \begin{matrix}Ca^{++}\\Ca^{++}\end{matrix} + 2KCl \rightleftarrows \text{ППК)}\ \begin{matrix}K^{+}\\K^{+}\end{matrix} + CaCl_2,$$

$$\text{ППК)}\ \begin{matrix}H^{+}\\Al^{+++}\end{matrix} + 4KCl \rightleftarrows \text{ППК)}\ \begin{matrix}Ca^{++}\\K^{+}\\K^{+}\end{matrix} + AlCl_3 + HCl.$$

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 $\rightleftarrows$ необменный калий $\rightleftarrows$ обменный калий $\rightleftarrows$ 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 нормы до посева.

6.4.4. Особенности использования и способы повышения эффективности калийных удобрений

Использование калийных удобрений на бедных калием дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных

почвах обычно дает значительные прибавки урожая всех сельскохозяйственных культур.

При определении норм калийных удобрений принимают во внимание тип и гранулометрический состав почв, содержание в них обменных 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 нормы 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) нормы калийных удобрений увеличивают до 90–150 кг/га. На торфяных хорошо окультуренных почвах нормы 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 норму 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 перепашку 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 %) нормы 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.

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

6.5. Серосодержащие удобрения

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

Сера играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, в активировании ферментов, синтезе белков, участвует в синтезе хлорофилла. Окисленная форма серы – исходный продукт для синтеза белков, она же – конечный продукт их распада. В молодых

органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится в основном в восстановленной форме.

Известно положительное влияние серы на величину и качество урожая: повышение содержания белка в зерновых культурах, масличности семян крестоцветных культур и др. Это связано, прежде всего, с физиологической ролью серы, участием в синтезе незаменимых аминокислот, витаминов, ферментов, углеводном и азотном обмене.

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. Градация почв по содержанию серы приведена в табл. 6.4.

Таблица 6.4. **Градация почв по содержанию и запасам серы**

Группы	Содержание	Минеральные почвы	Торфяные почвы	Запасы в слое 0–25 см, кг/га
		мг/кг		
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

Доля слабообеспеченных почв (менее 6 мг/кг) пахотных земель составляет в республике 60,8 %. При этом наблюдается большая пестрота по содержанию серы в почвах: от 38,1 % пахотных земель в Минской области до 83,2 % в Гродненской характеризуются очень низким (менее 6 мг/кг) содержанием подвижных форм серы. Доля высокообеспеченных почв серой с содержанием свыше 18 мг/кг сравнительно невелика и различается по областям республики от 1,5 до 5,4 % (табл. 6.5).

Сульфаты – главный источник серы для питания растений. Количество их в почве колеблется, а динамика содержания напоминает динамику содержания нитратов. Источником пополнения серы в почве являются органические и минеральные удобрения.

Например, при внесении 40 т навоза в почву поступает около 40 кг SO_3, при внесении 60 кг P_2O_5 в форме простого суперфосфата – 100 кг SO_3, 40 кг азота в форме сернокислого аммония – 120 кг SO_3. Источником серы являются также сульфаты калия, применяемые как удобре-

ния, а также калийные соли, содержащие сульфаты калия, магния, натрия. Баланс серы в почвах Беларуси отрицательный (табл. 6.6).

Таблица 6.5. **Распределение почв пахотных земель по группам содержания серы, %**

Области	По группам содержания S, мг/кг			
	< 6,00	6,01–12,00	12,01–18,0	> 18,0
Гомельская	55,5	31,9	7,2	5,4
Гродненская	83,2	11,3	2,8	2,7
Минская	38,1	41,4	13,4	7,1
Могилевская	52,2	40,7	5,6	1,5
Беларусь	60,8	29,3	6,2	3,7

Таблица 6.6. **Баланс серы в почвах пахотных земель Республики Беларусь, кг/га**

Приход				Расход			Баланс, (±)	Интенсивность баланса, %
С удобрениями		С осадками и семенами	Всего	Вынос с урожаем	Выщелачивание	Всего		
минеральными	органическими							
10,9	1,1	12,1	24,1	50,0	8,6	58,6	–34,6	41
SO_4								
32,6	3,2	36,3	72,1	150,3	25,7	176	–103,9	41

В связи с этим следует уделить внимание применению серосодержащих удобрений.

Использование в городах и на промышленных предприятиях каменного угля (в меньшей степени нефти) в качестве топлива приводит к значительному поступлению серы в почву через атмосферу. В Скандинавии с осадками ежегодно поступает около 3,4 кг серы на 1 га, в Западной Европе – 13,5 кг, в США в штате Мичиган – 9–13, а в штате Индиана (промышленный район) – 142 кг в год.

Потери серы вследствие вымывания значительны, так как сульфаты, как и нитраты, подвижны в почве.

Полагают, что 40–60 кг серы выносятся с осадками, просачивающимися в почву, особенно зимой. Вынос серы с урожаем приведен в табл. 6.7. В среднем для севооборота он составляет 25–30 кг/га в год, если солома возвращается в почву, и 40–50 кг, если она удаляется с поля. Следовательно, количество серы, ежегодно теряемое почвой, составляет 60–110 кг/га в зависимости от урожая культур и интенсив-

ности вымывания. Схематично процессы трансформации и миграции серы в почве представлены на рис. 6.2.

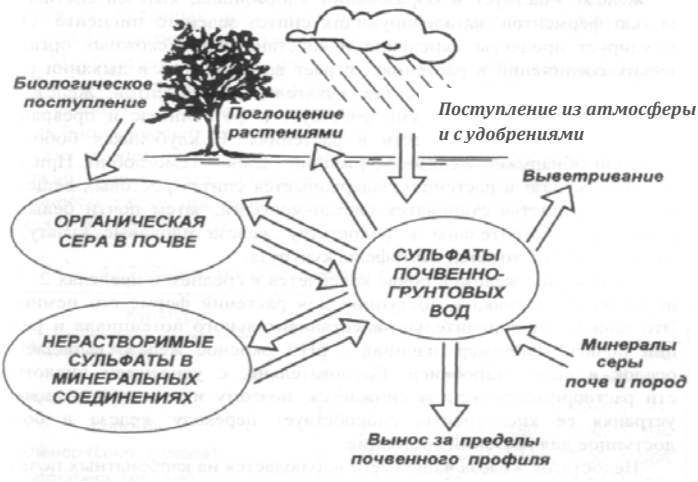

Рис. 6.2. Трансформация и миграция серы в почве (В. Г. Минеев)

Таблица 6.7. **Вынос серы с урожаями культур**

Культуры	Урожай, ц/га	Вынос серы, кг/га	Культуры	Урожай, 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 качестве серосодержащего удобрения в республике используется **фосфогипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)** – отход производства фосфорной кислоты экстракционным методом. Он образуется 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, каинит – 13, калимагнезия – 15, гипс – 18–20, сланцевая зола – 1,6–2,9, цементная пыль – 1, навоз – 0,02–0,06, торф – 0,1–0,3, аммонизированный суперфосфат – 25 % SO_3.

В 1 т навоза содержится 1 кг SO_3. Дозы серосодержащих удобрений следующие: фосфогипс для зерновых культур, гороха, вики, люпина, клевера, люцерны, бобово-зерновых травосмесей – 3 ц/га, картофеля, сахарной и кормовой свеклы, столовой свеклы, кукурузы – 4 ц/га, ярового и озимого рапса, капусты и других крестоцветных – 5 ц/га.

Рекомендуется вносить в предпосевную культивацию. Недостаток фосфогипса – высокая влажность (30–35%), значительные примеси фтора и кальция. Элементарная сера как удобрение используется редко. Оптимальная доза серы для большинства культур на легких почвах составляет 50–60 кг/га, а под крестоцветные на суглинистых почвах – 100–120 кг/га.

Прибавка урожая от серы составляет: зерна озимой пшеницы – 2–4 ц/га, озимой ржи – 1,5–3,0, ячменя – 2–3, овса – 1,5, клубней картофеля – 30, сена клевера – 15 ц/га.

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 Беларуси планируется использовать 40 тыс. т азота в форме сульфата аммония. Прежде всего его следует вносить под озимый и яровой рапс, картофель и другие культуры, отзывчивые на серу. Внесение 2–3 ц/га сульфата аммония под рапс удовлетворяет потребность этой культуры в сере.

Сера содержится также в аммонизированном суперфосфате и комплексных удобрениях, производимых ОАО «Гомельский химический завод», которые вносятся в дозах под планируемый урожай сельскохозяйственных культур.

6.6. Микроудобрения

6.6.1. Значение микроудобрений

Оптимизация питания растений, повышение эффективности удобрений в большой степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов. Это важно как для роста урожая, так и повышения качества продукции растениеводства и животноводства. Новые высокопродуктивные сорта отличаются более интенсив-

ным обменом веществ, что требует достаточной обеспеченности всеми элементами питания, включая микроэлементы.

С ростом урожайности сельскохозяйственных культур увеличивается вынос микроэлементов из почвы. Потребность в микроудобрениях растет и в связи с увеличением применения концентрированных, а значит, лучше очищенных минеральных удобрений, в которых микроэлементы содержатся в незначительных количествах.

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, калийных – бора, азотных – меди и молибдена. Известкование затрудняет доступность для растений многих микроэлементов.

Под влиянием микроудобрений не только повышается урожайность культур и улучшается качество сельскохозяйственной продукции, но и повышается устойчивость растений к вредителям и болезням, к неблагоприятным погодным условиям. На почвах с низким содержанием микроэлементов внесение микроудобрений может повысить урожайность на 10–15 % и больше. Микроудобрения положительно влияют на накопление белков и углеводов.

Микроэлементный состав сельскохозяйственной продукции – важный показатель ее биологической ценности. Отклонение содержания микроэлементов от оптимального (как в сторону уменьшения, так и увеличения) имеет прямое отношение к проблеме здоровья человека и животных.

Несбалансированность микроэлементного состава кормов и пищевых продуктов вызывает нарушение минерального обмена, что является причиной возникновения многих заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых и онкологических. Например, первичный дефицит меди, а также неблагоприятное соотношение этого элемента и цинка приводят к биохимическим сдвигам, которые можно рассматривать в качестве фактора риска ишемической болезни сердца. Имеющиеся данные указывают на то, что необходимо нормирование содержания в рационе человека цинка, меди и селена. Регулярное потребление на протяжении жизни этих микроэлементов с пищей и лекарственными препаратами – один из способов 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 сельско-

хозяйственных животных, и задача агрохимиков – с помощью микроудобрений получать продукцию с оптимальным содержанием микроэлементов.

Многочисленные эксперименты показали, что регулированием почвенного питания растений можно существенно корректировать микроэлементный состав сельскохозяйственных культур. Так, содержание меди, цинка, марганца в семенах зерновых и зернобобовых культур можно с помощью микроудобрений увеличить примерно в два раза. Еще в больших пределах увеличивалась концентрация молибдена в семенах после внесения молибденовокислого аммония.

Очень часто в растениеводческой продукции недостает селена, который необходим человеку. Опыты с овощными культурами показали, что можно достичь обогащения овощной продукции этим элементом без снижения продуктивности.

Необходимого в некоторых случаях снижения содержания микроэлементов в растениеводческой продукции можно добиться известкованием почвы. Таким образом, агрохимическими приемами можно регулировать содержание микроэлементов в растениеводческой продукции, доводя его в пищевых продуктах до оптимального (или заданного) уровня в соответствии с диетологическими и медицинскими рекомендациями.

К сожалению, химическая промышленность не удовлетворяет потребность сельского хозяйства в микроудобрениях и поэтому применение их крайне незначительно. Поэтому очень важно рационально их использовать. Рациональное применение микро-, как и макроудобрений, возможно только при использовании крупномасштабных карт содержания микроэлементов в почвах хозяйства.

Применение микроудобрений – один из показателей 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. 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.

Для Беларуси наиболее актуальна проблема дефицита в почвах меди, бора, цинка и молибдена, а в последнее время в связи с известкованием почв и марганца.

По данным крупномасштабного агрохимического обследования (2013–2016 гг.) средневзвешенное содержание подвижных форм бора, меди и цинка в почвах пахотных земель Беларуси является средним и составляет соответственно 0,61, 18,3 и 3,53 мг/кг. Доля почв I и II групп по обеспеченности бором, где необходимо применение этого микроэлемента, составляет по республике 71,1 %, медью – 88,5 и цинком – 90,8 %. Содержание молибдена в почвах Беларуси повсеместно низкое и составляет 0,03–0,1 мг/кг. Неблагоприятным является и избыточное содержание микроэлементов в почвах. Удельный вес почв с избыточным содержанием бора (IV группа) в Беларуси составляет 5,6 %, меди – 1,9 и цинка – 1,2 %.

Учитывая экологическую опасность передозировки микроудобрений, их следует применять только из расчета удовлетворения потребности растений, так как накопление их в почвах до оптимального уровня должно идти постепенно по мере окультуривания почв. Необходимо иметь ввиду, что медь и цинк относятся к группе тяжелых металлов, поэтому повышение их содержания в почве должно быть умеренным, не превышающим соответствующих пороговых уровней загрязнения.

6.6.2. Борные удобрения

В окультуренных почвах содержание бора, как валового, так и подвижного, выше. Установлено, что в дерново-подзолистых почвах (особенно легких) очень небольшой процент (менее 2 %) общего бора переходит в водную вытяжку, т. е. в этих почвах подвижность бора очень низкая. Низкую подвижность бора 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 др.).

Значительная часть бора в почвах связана с органическим веществом.

На подвижность бора в почве отрицательно влияет известкование, и на известкованных почвах потребность в борных удобрениях возрастает. Выше потребность в боре и при внесении повышенных доз калийных удобрений.

Бор необходим растениям в течение всей жизни. Он не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке особенно страдают молодые растущие органы. Под влиянием бора у растений быстрей образуется белок и крахмал, он усиливает прорастание пыльцы, увеличивает число цветков, завязей, семян, ускоряет развитие.

Бор необходим для развития меристемы, он активизирует ряд ферментов, участвует в обмене ауксинов и фенольных соединений. При недостатке бора лен поражается бактериозом (кальцевым хлорозом), картофель паршой. У бобовых культур нарушается развитие клубеньков и снижается симбиотическая фиксация азота, замедляется рост и формирование репродуктивных органов, у плодовых культур появляется суховершинность, развивается наружная пятнистость и опробкование тканей плодов.

Продолжительная засуха снижает доступность бора растениям. Более отзывчивы на бор лен, сахарная свекла, рапс, кормовые корнеплоды, клевер, люцерна, горох, подсолнечник, кукуруза, овощные, плодово-ягодные культуры. В зерне зерновых культур содержится (в сухой массе) 2–3 мг/кг бора, в клубнях картофеля – 6, корнеплодах сахарной свеклы – 12–17, в зеленой массе кукурузы – 1–2, сене клевера – 12–40 мг/кг. Среднее содержание бора в растениях составляет 1 мг/кг сухой массы.

В условиях недостатка борных удобрений в первую очередь они должны использоваться под лен, сахарную свеклу, рапс и семенники многолетних бобовых трав на почвах I и II групп по содержанию бора. На почвах III и IV групп обеспеченности бором борные удобрения применять не следует. Эффективность применения борных и других микроудобрений под сельскохозяйственные культуры приведена в табл. 6.8.

Таблица 6.8. **Эффективность применения микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур**

Культуры	Средняя прибавка урожайности, ц/га				
	Бор	Медь	Цинк	Молибден	Марганец
1	2	3	4	5	6
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	–

Окончание табл. 6.8

1	2	3	4	5	6
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	–

Потребность сельскохозяйственных культур в боре удовлетворяется за счет следующих микроудобрений.

Борная кислота (H_3BO_3) – мелкокристаллический порошок белого цвета. Содержит 17,3 % бора, хорошо растворим в воде. Предельная растворимость в 1 л водного раствора 45 г. Ее применяют для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок (табл. 6.9 и 6.10).

Таблица 6.9. **Нормы расхода микроудобрений для обработки семян, г на 1 ц семян**

Культуры	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	–	–	–
Семенники многолетних злаковых трав**	–	20–30	–	15–20
Кукуруза	–	20–40	80–100	–
Лен	100–200	100–150	150–200	–

*Обрабатывается без NaKМЦ, расход воды увеличивается в 2 раза; **обрабатывается сухим способом.

Таблица 6.10. **Средние дозы и сроки некорневых подкормок сельскохозяйственных культур микроэлементами**

Культуры	Микроэлементы	Некорневая подкормка	
		Доза, г/га д. в.	Срок применения
Озимые зерновые	Медь (Cu) Марганец (Mn)	50 50	Конец кущения, флаговый лист
Яровые зерновые	Медь (Cu) Марганец (Mn)	50 50	Первый или второй узел
Горох, вика, гречиха	Бор (B) Марганец (Mn)	50 50	Бутонизация, ветвление
Люпин узколистный	Бор (B) Молибден (Mo) Марганец (Mn)	50 50 50	Бутонизация
Лен-долгунец	Бор (B) Цинк (Zn)	150 250	Фаза «елочки»
Сахарная свекла, кормовая свекла	Бор (B) Марганец (Mn)	200 20	10–12 листьев, 25–30 листьев
Картофель	Бор (B) Медь (Cu) Марганец (Mn)	50 50 50	Смыкание ботвы
Озимый и яровой рапс	Бор (B) Медь (Cu) Марганец (Mn)	300 175 100	Бутонизация
Кукуруза	Цинк (Zn) Медь (Cu)	75 75	6–8 листьев
Семенники многолетних бобовых трав	Молибден (Mo) Бор (B)	40 50	Бутонизация

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 органо-минеральной 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.

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.

6.6.3. Медные удобрения

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, азурит и др.).

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

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

Под влиянием известкования снижается подвижность меди, поэтому на нейтральных и слабощелочных почвах растения испытывают недостаток меди. Возрастает потребность в меди и при применении высоких доз азотных удобрений. Медь оказывает влияние на образование в почвах нитратов.

Содержание меди в растениях определяется главным образом биологическими особенностями самого растения и содержанием подвижной меди в почве. Содержание меди в растениях колеблется от 3 до 15 мг в 1 кг сухого вещества. Различные культуры с урожаем выносят от 7 до 327 г с 1 га меди.

Особенно чувствительны к недостатку меди овес, ячмень и пшеница. У зерновых культур при недостатке меди листья белеют – появляется хлороз, у плодовых – суховершинность.

При недостатке меди в кормах животные сильно худеют, шерсть у них, как и при сухотке, становится всклокоченной, рост молодняка замедляется. Животные теряют аппетит и усиленно лижут несъедобные предметы, из-за чего эта болезнь получила название лизухи.

Медные удобрения наиболее эффективны на торфяно-болотных, дерново-подзолистых легкого гранулометрического состава и заболоченных почвах. Лучше всего отзываются на медные удобрения ячмень, овес, пшеница, травы, лен, корнеплоды, луговой клевер, сахарная и кормовая свекла, овощные и плодово-ягодные культуры. В качестве медных удобрений используются следующие формы.

Сульфат меди (медный купорос, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) содержит 23,4–24,9 % Cu. Это кристаллический порошок серо-голубого цвета, хорошо растворимый в воде. Предельная растворимость $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 1 л водного раствора при температуре 20 °С составляет 150 г. Медный купорос широко применяется для обработки семян (см. табл. 6.9) и некорневых подкормок (см. табл. 6.10). Эффективность некорневых подкормок зерновых культур медью особенно велика в засушливые годы.

Адоб медь – жидкий концентрат удобрения, содержащий 6,43 % меди **в хелатной форме**, 9 % азота и 3 % 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 стадии второго узла – с терпалом Ц. Расход рабочего раствора 200 л/га.

Первая подкормка озимых зерновых культур удобрением Адоб медь производится в дозе 0,2 л/га в фазе начала активной вегетации весной или стадии первого узла. Можно в фазе начала активной вегетации производить 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 озимого тритикале в дозе 0,8 л/га в фазе флагового листа или колошения. Ее можно совмещать с внесением фунгицидов (фалькон, тилт, альто супер, амистар экстра).

Эколист моно медь – жидкий концентрат удобрения, содержащий 7 % меди в хелатной форме, 6 % азота и 4 % серы. Удобрение производится в Польше. 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.

6.6.4. Цинковые удобрения

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. Содержание подвижного цинка в почвах снижается под влиянием известкования и при внесении повышенных доз фосфорных удобрений. Снижение подвижности цинка при внесении фосфорных удобрений связано с образованием в почве труднорастворимых фосфатов цинка.

Цинк входит в состав 30 ферментов (карбоангидразы, многих дегидрогеназ, щелочной фосфатазы и др.) и принимает участие в белковом, липоидном, фосфатном обмене, синтезе аскорбиновой кислоты, тиамина и ростовых веществ, повышает водоудерживающую силу растений. Наиболее чувствительны к недостатку цинка кукуруза, лен, плодовые и бобовые культуры. У яблони, вишни, абрикоса при недостатке цинка наблюдается мелколистность и розеточность.

Цинковое голодание приводит к нарушению углеводного обмена, задерживает образование сахарозы, крахмала и хлорофилла. Содержание цинка в растениях чаще всего колеблется от 15 до 22 мг на 1 кг сухого вещества.

Симптомы дефицита цинка у животных появляются при содержании его в корме менее 25–30 мг/кг. При этом у молодых животных замедляется рост, развиваются кожные болезни, выпадает шерсть. У взрослых животных наблюдается истощение, общее ослабление организма, бесплодие. Оптимальное содержание цинка в растениеводческой продукции составляет 20–40 мг/кг сухого вещества.

Наиболее распространенным цинковым удобрением является **сернокислый цинк** ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), содержащий 21–22 % Zn. Предельная растворимость $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ в 1 л водного раствора при температуре

20 °С составляет 360 г. Дозы сульфата цинка для обработки семян и некорневой подкормки приведены в табл. 6.9 и 6.10.

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 фазе 6–8 листьев в дозе 1,3 л/га в те же сроки, что и Адоб цинк. Адоб цинк и Эколист моно цинк производятся в Польше.

6.6.5. Молибденовые удобрения

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 его внесении резко уменьшается. Причем, как показали исследования, при известковании поступление молибдена в значительно большей степени увеличивается в бобовые, чем в злаковые растения. Подвижность молибдена увеличивается и при внесении фосфора. Больше его потребляют растения семейства бобовых. Вынос молибдена увеличивается при внесении молибденовых и повышенных доз фосфорных удобрений.

Содержание молибдена в растениях может колебаться в пределах 0,1–300 мг/кг сухой массы. Молибден входит в состав фермента нитратредуктазы, участвует в восстановлении нитратов в растениях, он также входит в фермент нитрогеназу, участвующую в фиксации атмосферного азота микроорганизмами как свободноживущими (азотобактер и др.), так и клубеньковыми, 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 и ухудшению его качества.

Наибольшую потребность в молибдене испытывают бобовые культуры (особенно клевер, люцерна), капуста цветная, средняя потребность отмечена у гороха, бобов, люпина, озимого и ярового рапса, капусты белокочанной, сахарной свеклы.

Наиболее распространенным молибденовым удобрением является **молибдат аммония** ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$), содержащий 50–52 % Mo. Дозы этого удобрения для обработки семян зернобобовых культур и семенников многолетних бобовых трав, а также для некорневой подкормки зернобобовых, сахарной и кормовой свеклы приведены в табл. 6.9. и 6.10. В России производится молибденизированный суперфосфат с 0,1 и 0,2 % Mo, которые могут использоваться под зернобобовые, овощи, семенники бобовых трав для основного и припосевного внесения. Дозы этих удобрений устанавливаются по фосфору.

6.6.6. Марганцевые удобрения

Марганец необходим всем растениям. Среднее его содержание в растениях – 10 мг на 1 кг сухой массы. Вынос с урожаем разных культур составляет 1–4,5 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.

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.

$MnSO_4 \cdot 5H_2O$ – мелкокристаллическая соль белого цвета, содержащая 22,8 % марганца. Предельная растворимость в 1 л водного раствора составляет 380 г. Дозы при некорневых подкормках сернокислым марганцем сельскохозяйственных культур приведены в табл. 6.10.

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. Микроудобрение производится в Польше.

Адоб марганец используется в дозе 0,3 л/га для первой подкормки озимых зерновых культур в начале активной вегетации весной или стадии первого узла, также применять его можно совместно с КАС или ретардантом, и во вторую подкормку озимых пшеницы и тритикале для высокопродуктивных посевов (можно в баковой смеси с фунгицидами) в фазе флагового листа или колошения, а также для подкормки яровых зерновых культур в стадии первого или второго узла.

Некорневая подкормка зернобобовых культур удобрением Адоб марганец производится в фазе бутонизации, ярового и озимого рапса – фазе начала 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.

В Беларуси для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок разработаны жидкие комплексные удобрения МикроСил (табл. 6.11).

Таблица 6.11. **Химический состав жидких комплексных удобрений МикроСил**

Микроудобрения	Азот	Бор	Цинк	Медь	Эко-сил, мл/л
	г/л				
Для предпосевной обработки семян					
МикроСил медь, цинк, бор ИС	50,0	6,1	6,5	7,3	12,0
Для некорневой подкормки растений					
МикроСил цинк, бор	80,0	30,0	46,0	–	30,0
МикроСил бор, медь	130,0	40,0	–	40,0	30,0
МикроСил бор	150,0	55,0	–	–	30,0

Состав жидких комплексных микроудобрений МикроСтим приведен в табл. 6.12.

Таблица 6.12. **Химический состав жидких комплексных удобрений МикроСтим**

Микроудобрения	Азот	Бор	Цинк	Медь	Гуминовые вещества, мг/л
	г/л				
Для некорневой подкормки растений					
МикроСтим медь	65	–	–	78	0,5–5,0
МикроСтим бор	5	150	–	–	0,6–8,0
МикроСтим бор, медь	65	40	–	40	0,6–6,0
МикроСтим цинк, бор	43	30	46	–	0,48–6,0
Для предпосевной обработки семян					
МикроСтим медь	47	–	–	60	0,9–6,0
Микростим цинк, бор, медь	50	6,1	6,5	7,3	0,15–0,6

Эколист моно марганец – жидкий концентрат удобрения, содержащий 12 % марганца в хелатной форме, 6 % азота и 4,5 % серы. В одном литре удобрения содержится 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. Производится Эколист моно марганец в Польше.

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.

Дозы применения МикроСил и МикроСтим устанавливаются для конкретных культур (см. табл. 6.10).

6.6.7. Приемы рационального применения микроудобрений

Достичь оптимальных концентраций доступных для растений форм микроэлементов трудно в связи с вымыванием их из почвы или закреплением в почве. Заданные оптимальные уровни содержания микроэлементов в почвах создают только в тех случаях, когда почвы генетически бедны тем или иным микроэлементом. 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 на почвах с низкой обеспеченностью этими элементами питания. Для среднеобеспеченных микроэлементами почв рекомендуются обработка семян и некорневые подкормки, на высокообеспечен-

ных 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 пленкообразователей. В качестве последнего в Беларуси применяют 2%-ный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (полимер NaKМЦ). При заблаговременном протравливании за два месяца до сева крупносеменных бобовых культур (люпин, горох, вика, пелюшка и др.) при влажности семян не более 12 % расход NaKМЦ составляет 10 л на 1 т семян; при предпосевной обработке и влажности зерна выше 12 % – 15 л. При обработке мелкосеменных бобовых культур (клевер, люцерна и др.) расход 1%-ного раствора NaKМЦ 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.

Институтом 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.

При приготовлении композиционного состава с Адоб медь в 5–6 л воды приливают 1,5 л жидкого микроудобрения Адоб медь. В полученный раствор добавляют 0,25 л гидрогумата и 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 др.

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 органоминеральной формах.

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 введении микроэлементов в КАС лучше растворить их сначала в воде, а затем вносить в раствор заводского КАС или разбавленного водой до необходимого содержания азота при некорневой подкормке.

При отсутствии на тарной этикетке рекомендаций по использованию микроудобрения или пестицида с КАС каждый компонент смеси должен проверяться на совместимость с КАС.

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 – 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.

6.7. Комплексные удобрения

Комплексными называются минеральные удобрения, содержащие не менее двух главных 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 суспендированные 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 однокомпонентных и сложных удобрений аммиаком, аммиакатами и кислотами с последующей градацией. В Беларуси на ОАО «Гомельский химический завод» выпускаются сложно-смешанные удобрения с различным соотношением элементов питания с их общим содержанием от 25 до 50 %. Производятся сложно-смешанные удобрения 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.

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 тукосмесительных установках в местах использования удобрения.

Аммофос ($NH_4H_2PO_4$) содержит 10–12 % N и 46–52 % P_2O_5, получают нейтрализацией фосфорной кислоты аммиаком:

$$NH_3 + H_3PO_4 = NH_4H_2PO_4.$$

Удобрение малогигроскопично, 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.

Аммофосфат содержит 6 % N и 45–46 % P_2O_5. Это азотно-фосфорное удобрение, производится Гомельским химическим заводом. 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 агрономической эффективности аммофосфат приближается к аммофосу. Используется тоже аналогично.

Нитрофоска – полное азотно-фосфорно-калийное удобрение, содержащее 11 % N, 10 P_2O_5 в усвояемой форме и 6 % в водорастворимой, 11 % K_2O. Получают нитрофоску 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.

Нитроаммофоска – высококонцентрированное удобрение, содержащее по 17–18 % N, P_2O 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 припосевного внесения под зерновые, картофель, сахарную свеклу и другие сельскохозяйственные культуры.

Азофоска содержит по 16 % N, P_2O_5 и K_2O. Она имеет весьма сложный химический состав. Ее получают методом азотнокислого разложения фосфатного сырья. Если хлористый калий не вводится, получают двойное азотно-фосфорное удобрение. Применяют азофоску так же, как нитрофоску.

Аммонизированный суперфосфат ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + NH_4H_2PO_4$) содержит от 22 до 33 % P_2O_5 и 3–8 % N. На ОАО «Гомельский химический завод» в последнее время производится марка, состоящая из 8 % N и 30 % P_2O_5. Фосфор в этом удобрении содержится в основном в водорастворимой форме. Гранулированное удобрение серого цвета применяется для основного внесения под все культуры, а также в рядки при посеве.

Диаммонийфосфат (диаммофос, $(NH_4)_2HPO_4$) – гранулированное удобрение темно-серого цвета, неслеживающееся, содержит 19–21 % N и 35–48 % P_2O_5 в водорастворимой форме. Обладает хорошими физическими свойствами. Его можно непосредственно применять под все культуры или использовать для приготовления сложно-смешанных удобрений.

Аммофосфатка – гранулированное комплексное удобрение. Содержит 4 % N, 24 % P_2O_5 и 30 % K_2O. Производится в гранулированном виде. Рекомендуется для внесения под лен.

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.

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 °С.

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 подкормка может быть и поверхностной.

Новые формы комплексных удобрений. В Республике Беларусь разработаны комплексные 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 следующие комплексные удобрения:

- марка NPK 13:12:19;
- марка NPK 16:12:20.

Для льна разработаны две марки комплексных удобрений:

- NPK 6:21:32 (сумма NPK 59 %) – содержит 6 % N, 21 % P_2O_5, 32 % K_2O, 0,22 % B, 0,30 % Zn, 0,2 % Fe. Удобрение предназначено для почв с низким и средним содержанием фосфора;
- NPK 5:16:35 (сумма NPK 56 %) – 5 % N, 16 % P_2O_5, 35 % K_2O, 0,17 % B, 0,25 % Zn, 0,2 % Fe. Это удобрение предназначено для почв с повышенным и высоким содержанием фосфора и низким и средним содержанием калия.

Для озимого рапса предназначено комплексное удобрение марки NPK 7:16:31 (сумма NPK 54 %), содержащее 7 % N, 16 % P_2O_5, 31 % K_2O, 0,25 % B, 0,15 % Mn.

Для сахарной свеклы разработаны удобрения следующих марок:

- NPK 13:12:19 (сумма NPK 44 %) – содержит 13 % N, 12 % P_2O_5, 19 % K_2O, 5 % Na_2O, 5,8 % S, 0,15 % B, 0,20 % Mn;
- NPK 16:12:20 (сумма NPK 48 %) – 16 % N, 12 % P_2O_5, 20 % K_2O, 0,20 % B, 0,25 % Mn.

На ОАО «Гомельский химический завод» производятся следующие марки комплексных удобрений:

- NPK 7:16:32:3 (S) (сумма NPK 55 %) – содержит 7 % N, 16 % P_2O_5, 33 % K_2O, 3 % S;
- NPK 6:19:35 (сумма NPK 60 %) – 6 % N, 19 % P_2O_5, 35 % K_2O;
- NPK 8:19:29:3 (S) (сумма NPK 56 %) – 8 % N, 19 % P_2O_5, 29 % K_2O, 3 % S;
- NPK 8:24:24:3 (S) (сумма NPK 56 %) – 8 % N, 24 % P_2O_5, 24 % K_2O, 3 % S;
- NPK 5:17:36:(S) (сумма NPK 58 %) – 5 % N, 17 % P_2O_5, 36 % K_2O, 2 % S;
- NP 10:35:7 (S) (сумма NPK 45 %) – 10 % N, 35 % P_2O_5, 7 % S;

- NP 9:30:10 (S) (сумма NPK 39 %) – 9 % N, 30 % P_2O_5, 10 % S;

- NPK 6:24:12:6 (S) (сумма NPK 42 %) – 6 % N, 24 % P_2O_5, 12 % K_2O, 6 % S.

ОАО «Беларуськалий» производит следующие марки комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений:

- NPK 9:25:25 (сумма NPK 59 %) – 9 % N, 25 % P_2O_5, 25 % K_2O;

- NPK 13:12:19 (сумма NPK 44 %) – 13 % N, 12 % P_2O_5, 19 % K_2O, 5 % Na_2O, 0,15 % B;

- NPK 13:13:21 (сумма NPK 47%) – 13 % N, 13 % P_2O_5, 21 % K_2O;

- NPK 6:18:34 (сумма NPK 58 %) – 6 % N, 18 % P_2O_5, 34 % K_2O;

- NPK 7:20:30 (сумма NPK 57 %) – 7 % N, 20 % P_2O_5, 30 % K_2O;

- калийфос N марка 13:7:15 (сумма NPK 35 %) – содержит 13 % N, 7 % P_2O_5, 15 % K_2O, 1,5 % Mg, 0,02 % B, 16 % S.

ОАО «Беларуськалий» производит тукосмеси следующих марок:

- NPK 4:16:34 (сумма NPK 54 %) – 4 % N, 16 % P_2O_5, 34 % K_2O;

- NPK 5:20,5:36 (сумма NPK 61,5 %) – 5 % N, 20,5 % P_2O_5, 36 % K_2O;

- NPK 6:26:30 (сумма NPK 62 %) – 6 % N, 26 % P_2O_5, 30 % K_2O.

Рекомендуются для основного внесения, возможно применение перед посевом или одновременно с ним.

Разработаны новые формы комплексных жидких удобрений (ЖКУ) с хелатными формами микроэлементов – для корневых и некорневых подкормок сельскохозяйственных культур.

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, свеклы, капусты, зерновых культур, картофеля, льна-долгунца, бобовых.

Для некорневых подкормок зерновых, зернобобовых, картофеля и других сельскохозяйственных культур применяются специализированные комплексные удобрения, содержащие макро- и микроэлементы. Состав комплексных жидких удобрений с микроэлементами, производимых в Польше, представлен в табл. 6.13.

Используют для некорневых подкормок различных сельскохозяйственных культур также твердые комплексные удобрения, содержащие

необходимые растениям макро- и микроэлементы – Нутривант плюс (Израиль), Кристалон (Нидерланды) и др.

Таблица 6.13. **Состав комплексных удобрений с микроэлементами, %**

Наименование	N	P_2O_5	K_2O	MgO	Mn	Cu	Fe	B	Zn	Mo
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

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.

Смешанные удобрения, или тукосмеси, требуют меньших энергетических затрат по сравнению с отдельным внесением разных форм минеральных удобрений. В них выше концентрация питательных элементов, содержащихся в оптимальном соотношении исходя из биологических особенностей выращиваемых культур. Тукосмеси могут готовиться как на заводах, так и в хозяйствах. Основные требования к гранулированным удобрениям – хорошая сыпучесть, неслеживаемость туков.

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 тукосмесей 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 ухудшиться их физические свойства, снизиться растворимость, произойти потеря питательных элементов.

7. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

7.1. Органические удобрения, их виды и эффективное использование

Органические удобрения содержат питательные элементы в форме органических соединений растительного и животного происхождения.

Применяются следующие виды органических удобрений:

1. На основе отходов животноводства и птицеводства: подстилочный и бесподстилочный навоз, навозные стоки и птичий помет;

2. Из природного органического сырья: торф, сапропель, компосты (в том числе вермикомпосты);

3. Зеленые удобрения и побочные продукты растениеводства (солома, ботва);

4. На основе коммунальных и промышленных отходов: промышленные и бытовые отходы, гидролизный лигнин, осадки сточных вод.

Органическим удобрением принадлежит важная роль в повышении плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Без их систематического применения нельзя рассчитывать на высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, особенно на песчаных и супесчаных почвах.

В современном сельском хозяйстве органическим удобрениям принадлежит особая роль в сохранении почвенного плодородия на фоне повышения урожайности возделываемых культур. При интенсивном ведении земледелия минерализация гумуса существенно возрастает и недостаточные дозы органических удобрений могут привести к снижению почвенного плодородия. Поэтому в настоящее время поддержание бездефицитного баланса гумуса в почвах с оптимальным его содержанием и положительного – в почвах с низким содержанием является первоочередной задачей сельскохозяйственного производства, и ее решение непосредственно связано с применением органических удобрений.

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.

Систематическое применение органических удобрений способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы, увеличивает запас питательных веществ, понижает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглотительную способность и буферность, влагоемкость, скважность и водо-

проницаемость, обогащает почву микрофлорой, усиливает ее биологическую активность и выделение углекислоты, уменьшает сопротивление почвы при механической обработке, создает оптимальные условия для минерального питания растений, повышает устойчивость растений при неблагоприятных погодных условиях.

За счет органических удобрений в Беларуси компенсируется около 30–40 % выноса питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур. Под влиянием органического вещества навоза активизируются микробиологические процессы в почве, в результате чего повышается растворимость, а следовательно, и доступность растениям элементов минерального питания.

Около 75 % органических удобрений от внесенного количества минерализуется и участвует в питании растений, 25 % гумифицируется и идет на восполнение потерь почвенного гумуса, с навозом в почву возвращается часть питательных элементов, поглощенных растениями в предыдущие годы. Одна тонна подстилочного навоза в среднем содержит 5 кг азота, 2,5 кг фосфора, 6 кг калия, а также ряд микроэлементов – 15 г марганца, 1,1 г бора, 2,5 г меди, 10 г цинка, 0,15 г кобальта.

Органические удобрения являются источником углекислого газа, который насыщает не только почвенный воздух, но и приземный слой атмосферы.

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. Ежегодно на почвы пахотных земель республики необходимо вносить 55,7 млн. т навоза и компостов, или 12,1 т на 1 га пашни.

Среднегодовые дозы органических удобрений в севооборотах для поддержания бездефицитного баланса гумуса зависят от типа и гранулометрического состава почвы, биологических особенностей возделываемых культур.

Наиболее интенсивно минерализация гумуса протекает в почвах под пропашными культурами. Положительный баланс гумуса при возделывании без внесения органических удобрений способны обеспечить только многолетние травы. Поэтому при расчете доз органических удобрений для поддержания бездефицитного баланса гумуса необходимо учитывать соотношение между пропашными культурами и многолетними травами: чем меньше многолетних трав приходится на 1 га пропашных, тем выше должны быть дозы органических удобрений.

При структуре посевных площадей, когда на 1 га пропашных приходится 0,8 га многолетних трав, для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель необходимо вносить не менее 12 т/га органических удобрений, или 55,7 млн. т. С учетом имеющегося поголовья скота может быть заготовлено 46,8 млн. т навоза и компостов и 9,7 млн. т условного навоза за счет запашки соломы. В сумме это составит 56,5 млн. т органических удобрений (12,1 т/га), что в целом может обеспечить бездефицитный баланс гумуса.

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, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 к. ед.

К наиболее распространенным органическим удобрениям в Республике Беларусь относятся подстилочный и бесподстилочный навоз, птичий помет, сапропель, торф, зеленое удобрение, а также различные компосты (торфонавозные, торфопометные, вермикомпосты, с использованием соломы, костры льна, лигнина, растительных, древесных и бытовых отходов и т. д.). Средний состав органических удобрений при естественной влажности приведен в табл. 7.1.

Следует отметить, что 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 обусловливает необходимость контроля за качеством удобрений и содержанием в них основных элементов питания.

Таблица 7.1. **Средний состав органических удобрений**

Удобрения	Влажность, %	Содержание, кг/т*						
		Органическое вещество	$N_{общ}$	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Соломистый навоз: КРС	75	210	5,0	2,5	6,0	4,0	1,1	0,6
свиньи	70	240	5,0	2,0	6,0	1,8	0,9	0,8
овцы	65	300	8,0	2,5	6,5	3,3	1,8	1,5
лошади	70	220	6,0	3,0	6,5	2,1	1,4	0,7
смешанный	75	220	5,0	2,5	6,0	3,5	1,2	1,0

Продолжение табл. 7.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Торфяной навоз: КРС	75	220	6,0	2,0	5,0	4,5	1,0	0,5
лошади	70	230	8,0	2,5	5,5	4,4	1,2	0,4
Полужидкий навоз: КРС	90	125	3,5	1,5	4,0	1,3	0,9	0,3
свиньи	90	115	4,5	2,5	3,0	1,9	1,0	0,4
Жидкий навоз: КРС	95	40	2,0	1,0	2,5	0,5	0,4	0,1
свиньи	95	40	2,5	0,9	1,8	0,6	0,2	0,1
Навозные стоки: КРС	98	18	0,7	0,4	0,7	–	–	–
свиньи	98	18	0,8	0,5	0,4	–	–	–
Птичий помет: куры	55	350	16,0	15,0	8,0	24,0	7,0	4,0
утки	70	250	7,0	9,0	6,0	11,0	2,0	3,0
гуси	75	230	5,0	5,0	9,0	8,0	2,0	9,0
индюки	75	230	7,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0
смешанный	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 полужид.	85	110	9,0	9,0	3,0	9,0	4,0	2,0
Птичий помет жидкий	95	40	3,0	2,5	1,0	4,0	1,2	0,7
Стоки птичьего помета	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 (1:1)	70	220	5,0	1,6	4,0	3,5	0,6	0,3
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 (биогумус)	50	425	20,0	15,0	10,0	–	–	–

Окончание табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сапропелевые удобрения	60	–	8,0	1,0	0,5	–	–	–
Торф: низинный	60	350	10,0	1,2	0,7	15,0	–	–
переходный	60	370	6,5	0,6	0,5	4,8	–	–
верховой	60	385	4,0	0,4	0,3	1,2	–	–
Зеленое удобрение: бобовые	80	140	5,0	1,1	3,0	3,0	1,4	0,9
крестоцветные	80	140	4,0	1,3	3,8	2,0	1,0	0,7
злаковые	80	140	3,5	1,2	2,8	1,0	0,4	0,2
смесь	80	140	4,2	1,2	3,2	2,0	1,0	0,5
Солома: зерновые	16	800	4,0	1,5	10,0	2,0	1,0	1,5
зернобобовые	16	780	10,0	2,0	11,0	9,0	2,0	5,0
крестоцветные	16	780	5,0	1,5	9,0	8,0	2,0	4,0
крупяные	16	800	7,0	3,0	12,5	5,0	2,0	1,0
кукуруза	16	850	4,5	2,0	12,0	3,0	2,0	2,0
Ботва: сахарная свекла	80	120	3,5	1,0	5,0	1,0	1,0	0,4
кормовая свекла	80	120	4,0	1,0	6,0	2,0	1,0	0,4
картофель	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 %).

Для перевода содержания элементов питания в органических удобрениях при естественной влажности ($ЭП_{нв}$) в содержание элементов питания в сухом веществе ($ЭП_{св}$), и наоборот, используют формулы:

$$ЭП_{св} = \frac{100 \cdot ЭП_{нв}}{СВ};$$

$$ЭП_{нв} = \frac{ЭП_{св} \cdot СВ}{100},$$

где СВ – содержание сухого вещества, % (СВ = 100 – влажность органического удобрения).

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.

Для учета внесения различных видов органических удобрений используют следующие коэффициенты перевода в условный навоз: все виды подстилочного навоза, торфонавозные и сборные компосты – 1,0; полужидкий бесподстилочный навоз – 0,5; жидкий навоз – 0,2; навозные стоки – 0,06; куриный помет – 1,7; подстилочный помет – 2,0; торфопометный 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 – 3,8 (с учетом дополнительного внесения азота); ботва – 0,5.

Отавная форма зеленого удобрения с учетом запашки 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 т/га – 20 т/га навоза.

Коэффициенты перевода в условный навоз учитывают содержание органического вещества в удобрении, количество и доступность основных элементов питания, соотношение между углеродом и азотом, что определяет процессы гумификации и питания растений, действие и последействие органических удобрений в севообороте.

7.1.1. Дозы и сроки применения органических удобрений

Органические удобрения в системе 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. 7.2).

Таблица 7.2. **Средние дозы органических удобрений под сельскохозяйственные культуры**

Культуры	Подстилочный навоз или компост, т/га	Жидкий навоз, кг/га	
		КРС	Свиньи
1	2	3	4
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. 7.2

1	2	3	4
Овощные культуры	20–80	–	–
Озимые зерновые	30–40	–	–
Однолетние травы	30–40	80–100	60–80
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травы: при перезалужении	30–40	80–100	60–80
при подкормке	–	150–250	130–180
Луговые земли	–	140–200	110–150

Из подстилочного навоза в год внесения используется 20–25 % азота, 25–30 % фосфора и 50–60 % калия; из бесподстилочного – 30–50 % азота, 30–40 % фосфора и 50–65 % калия. На второй год из подстилочного навоза используется 20 % азота, 10–15 % фосфора и 10–15 % калия; из бесподстилочного – соответственно 15–20 % азота и 10 % фосфора и калия. На третий год из подстилочного навоза используется только 10,5 % азота. Среднее потребление элементов питания из основных видов органических удобрений приведено в табл. 7.3.

Таблица 7.3. **Виды органических удобрений и потребление из них элементов питания**

Виды удобрения	Потребление из 1 т, первый год						Потребление из 1 т, второй год		
	кг			г			кг		
	N	P_2O_5	K_2O	B	Cu	Zn	N	P_2O_5	K_2O
Соломистый навоз КРС	0,90	0,50	2,00	0,5	0,7	5,4	0,50	0,15	0,48
Торфяной навоз КРС	0,68	0,41	1,60	0,6	0,5	3,6	0,42	0,11	0,38
Полужидкий навоз КРС	0,80	0,42	2,00	0,6	0,7	3,0	0,40	0,11	0,34
Жидкий навоз КРС	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

Дозы минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры корректируются с учетом поступления азота, фосфора и калия с органическими удобрениями.

Главное условие эффективного использования органических удобрений – равномерное их внесение в оптимальные сроки и своевременная заделка в почву. При разбрасывании навоза без заделки за 4 часа потери аммиачного азота могут достигать 55 %, за 12 часов – 65 %, за 24 часа – 70 %, за 48 часов – 80 %.

Основным сроком применения подстилочного навоза и компостов на связных почвах при возделывании пропашных культур является осеннее внесение под зяблевую вспашку. Правильно забуртованные 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 основное 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 хо-

рошим влагопоглощающим материалом для бесподстилочного навоза и помета.

Эффективным способом использования соломы является ее непосредственное применение на удобрение без отчуждения из агроценоза. Для этого используют солому рапса, гречихи, кукурузы, зернобобовых, озимых и яровых зерновых культур. В первую очередь измельченную солому на удобрение используют в отдаленных от животноводческих ферм полях севооборотов и в хозяйствах с бесподстилочным содержанием животных. Измельчение соломы нужно проводить во время уборки зерновых, крупяных, крестоцветных и зернобобовых культур навесными приставками к комбайнам. Сразу же после измельчения соломы дополнительно следует внести 20–30 т/га жидкого навоза или минеральные азотные удобрения из расчета 10 кг азота на 1 т соломы, заделать полученную массу дисковыми боронами и запахать. Для ускорения минерализации соломы после уборки основной культуры и измельчения соломы возможен также посев пожнивных культур, которые затем используются в качестве зеленого удобрения.

Количество соломы, которую можно использовать для непосредственного применения на удобрение, определяется по результатам баланса, который необходимо проводить в каждом конкретном хозяйстве (разница между общим выходом соломы и потребностью в соломе на корм животным, на подстилку, для приготовления компостов, для укрытия буртов, для хозяйственных нужд населения).

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.

7.1.2. Подстилочный навоз

Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных (экскрементов) и подстилки. Состав и удобрительная ценность навоза зависят от вида животных, используемых кормов, качества и количества подстилки и способа хранения.

Количество и соотношение твердых и жидких выделений значительно различаются по видам скота. У лошадей в 3,5 раза, у овец и крупного рогатого скота в 2,5 раза больше твердых, чем жидких, выделений; у свиней, наоборот, жидких в 2 раза больше, чем твердых. Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобритель-

ной ценности. 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 содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после минерализации. В жидких выделениях элементы питания находятся в растворимой, легкодоступной для растений форме.

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияет количество потребляемых кормов. Чем больше скармливается сочных кормов и выше их влажность, тем больше жидких выделений. При увеличении в рационе количества концентрированных кормов возрастает содержание в навозе азота и фосфора. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40 % органического вещества, 50 % азота, 80 % фосфора и до 95 % калия.

Навоз лошадей и овец содержит меньше воды и больше органического вещества, а также азота, фосфора и калия, чем навоз коров и свиней. Качество навоза во многом определяется количеством и качеством подстилки, и прежде всего зависит от содержания в ней азота и зольных элементов, а также от способности подстилки поглощать жидкие выделения животных и газы.

Состав навоза зависит от вида животных и используемой подстилки (табл. 7.4).

Таблица 7.4. **Состав свежего навоза в зависимости от вида животных и подстилки, %**

Составные части навоза	На соломенной подстилке					На торфяной подстилке	
	Смешанный	Крупного рогатого скота	Лошадей	Овец	Свиней	Крупного рогатого скота	Лошадей
Вода	75,0	73,3	71,3	64,6	72,4	77,5	67,0
Органическое вещество	21,0	20,3	25,4	31,8	25,0	–	–
Азот:							
общий	0,50	0,45	0,58	0,83	0,45	0,60	0,80
аммиачный	0,15	0,14	0,19	–	0,20	0,18	0,28
Фосфор (P_2O_5)	0,25	0,23	0,28	0,23	0,19	0,22	0,25
Калий (K_2O)	0,60	0,50	0,63	0,67	0,60	0,48	0,53
Кальций (CaO)	0,35	0,40	0,21	0,33	0,18	0,45	0,44
Магний (MgO)	0,15	0,11	0,14	0,18	0,09	–	–

В качестве подстилки используется солома озимых зерновых культур и торф, реже – древесные опилки и стружка. **Солому** лучше использовать в виде резки длиной 8–15 см. В этом случае она больше впитывает мочи, равномернее увлажняется, навоз получается более однородный, плотнее и при хранении меньше теряет азота. Его можно равномернее распределить по полю и легче заделать в почву.

Верховой торф содержит в 3–4 раза больше азота, чем солома, и обладает значительно большей поглощающей способностью, он почти полностью поглощает мочу и образующийся при ее разложении аммиак. Навоз на торфяной подстилке содержит меньше калия, но больше общего и аммиачного азота, чем навоз на соломенной подстилке. При использовании для подстилки мелкой стружки и древесных опилок получается навоз плохого качества. Он имеет низкое содержание азота и медленно разлагается.

Средние суточные нормы соломы зерновых культур и верхового торфа для подстилки на одну голову составляют соответственно (в кг): для коров – 4–6 и 5–8, лошадей – 2–4 и 3–5, овец – 0,5–1 и 1–2,5, свиней – 1–2 и 1,5–2.

Выход навоза зависит от количества подстилки, вида животных, продолжительности стойлового периода. Выход навоза можно рассчитывать несколькими способами. Например, при расходе на одну голову крупного рогатого скота в сутки 2 кг соломы за стойловый период (200 дней) в расчете на одну голову накапливается около 7 т навоза. Овцы накапливают примерно 0,5 т на 1 голову, свиньи – 1–1,5, лошади – 7 т.

Если исходить из того, что сухое вещество корма наполовину усваивается животными и половина его переходит в навоз, а подстилка поглощает жидкие выделения в соотношении 1:4, то выход навоза (Н) можно рассчитать по формуле

$$Н = 4(К / 2 + П),$$

где К – сухое вещество корма;

П – масса подстилки.

Выход навоза в хозяйстве можно рассчитывать исходя из количества экскрементов, получаемых от одной условной головы скота, и количества применяемой подстилки. 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 массу подстилки и получают выход органических удобрений по хозяйству.

Количество хранящегося навоза можно определить, зная его объем (произведение длины, ширины и высоты) в $м^3$ и плотность. Масса 1 $м^3$ свежего навоза – 400 кг, уплотненного – 700, полуперепревшего – 800, сильно разложившегося – 900 кг.

Хранение подстилочного навоза. Количество и качество подстилочного навоза в значительной степени зависят от способа его хранения. При хранении навоза под влиянием микроорганизмов происходит разложение азотистых и безазотистых органических веществ. Мочевина и другие органические азотистые соединения, содержащиеся в жидких выделениях животных, превращаются в газообразный аммиак, который улетучивается из навоза.

В зависимости от условий хранения разложение навоза происходит с разной интенсивностью и навоз получается разного качества. Существуют плотный, рыхлый и рыхло-плотный способы хранения навоза.

При плотном, или холодном, способе хранения навоз укладывают слоями и сразу уплотняют. Ширина бурта должна составлять 3–4, высота – 1,5–2 м, длина зависит от количества навоза. Сверху укладывают слой торфа или соломы. Температура в таком бурте бывает невысокой (20–30 °С), доступ воздуха ограничен, свободные от воды поры заняты углекислотой, из-за чего микробиологическая деятельность затруднена, поэтому разложение органического вещества протекает медленно. Свежий навоз становится полуперепревшим через 3–5 мес. Потери органического вещества и азота при таком способе хранения сравнительно небольшие.

При **рыхлом, или горячем, хранении** навоза (без уплотнения) происходят наибольшие потери органического вещества и азота, навоз разлагается неравномерно, удобрительная ценность его снижается (табл. 7.5).

Такой способ допустим лишь при хранении торфяного навоза и для получения перегноя.

Таблица 7.5. **Потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза, % от содержания в свежем навозе**

Способы хранения	Соломенная подстилка		Торфяная подстилка	
	Потери органического вещества	Потери азота	Потери органического вещества	Потери азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Рыхло-плотный	24,6	21,6	32,9	17,0
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

При **рыхло-плотном хранении** свежий навоз укладывают сначала рыхлым слоем высотой 0,8–1 м, а когда температура навоза достигает 60–70 °С (на 3–5-й день), сильно уплотняют. Так укладывают слой за слоем, уплотняя каждый слой лишь после сильного разогревания. До уплотнения в бурте происходит интенсивное аэробное разложение, при котором теряется значительная часть азота и органического вещества. Чтобы уменьшить эти потери, применяют повышенные нормы подстилки. Высокая температура при рыхлом хранении навоза способствует обезвреживанию возбудителей желудочно-кишечных заболеваний и потере всхожести семян сорняков. После уплотнения температура в навозной массе снижается до 30–35 °С, и процесс разложения в дальнейшем протекает в анаэробных условиях.

Навоз при рыхло-плотном хранении разлагается значительно быстрее, чем при плотном. Полуперепревший навоз образуется через 1,5–2 мес. Этот способ хранения используют, когда за сравнительно короткий срок необходимо получить полуразложившийся навоз или когда в навозе обнаруживаются возбудители желудочно-кишечных заболеваний, а также много семян сорняков и необходимо биотермическое обеззараживание навоза.

Хранение навоза под скотом используют для накопления навоза при беспривязном содержании скота на выгульных площадках и в полевых загонах. При этом на отведенных площадках настилают торф или резаную солому слоем 30–50 см. Подстилка под скотом равномерно перемешивается с экскрементами животных и уплотняется. По мере переувлажнения верхнего слоя добавляют небольшие порции новой подстилки. Такой навоз убирают одни-два раза в год и укладывают в уплотненные штабеля или сразу вносят в почву.

В перепревшем навозе и перегное относительное (процентное) содержание азота, фосфора и калия выше, чем в полуперепревшем

(табл. 7.6), однако из 20 т свежего навоза получается 14–17 т полуперепревшего, 10 т перепревшего и 5–7 т перегноя.

В зависимости от способа и продолжительности хранения навоз получается **различной степени разложения.** По степени разложения различают следующие виды навоза: **свежий, слаборазложившийся** (солома почти полностью сохраняет свой цвет и прочность), **полуперепревший** (солома темно-коричневого цвета, легко разрывается), **перепревший** (солома полностью разложилась, навоз имеет вид черной мажущейся массы) и **перегной** (рыхлая землистая масса).

Таблица 7.6. **Состав навоза в зависимости от степени его разложения (по данным ВИУА и НИУИФ), %**

Показатели	Свежий	Полуперепревший	Перепревший	Перегной
Азот	0,52	0,60	0,66	0,73
Фосфор (P_2O_5)	0,31	0,38	0,43	0,48
Калий (K_2O)	0,60	0,64	0,72	0,84
Уменьшение массы по сравнению со свежим навозом	–	15–30	Около 50	65–75

При доведении навоза до стадии перепревшего и перегноя теряется много азота (соответственно около 40 и 60 %), тогда как при получении полуперепревшего навоза – лишь около 15 %. Поэтому рациональнее применять полуперепревший навоз, в котором лучше сохраняется азот, особенно аммиачный, и содержится больше органического вещества, чем в перепревшем навозе.

Хранение подстилочного навоза в навозохранилище. Для хранения навоза в каждом хозяйстве необходимо иметь навозохранилища (котлованного или наземного типа) с жижесборниками. Навозохранилища располагают на возвышенных местах на расстоянии не менее 50 м от скотных дворов и 200 м от жилых построек.

Основное требование при постройке навозохранилища – прочное и водонепроницаемое дно, лучше цементированное или асфальтированное. Размеры навозохранилища зависят от количества скота и продолжительности хранения. Примерная площадь навозохранилища в расчете на одно животное для хранения навоза в течение 2,5–3 мес следующая (в $м^2$): крупный рогатый скот – 2–2,5, молодняк крупного рогатого скота – 1–1,25, свиньи – 0,4–0,5. Вместимость жижесборников зависит

от объема навозохранилища – около 2 $м^3$ на 100 $м^2$ площади навозохранилища.

Навоз надо укладывать вдоль длинной стороны навозохранилища большими правильными рядами шириной 2–3 м, тесно примыкающими друг к другу. При такой укладке потери азота меньше и в одной стороне навозохранилища находится более разложившийся навоз, в другой – менее. Бурты покрывают сверху торфом или резаной соломой.

Хранение навоза в поле. В поле навоз укладывают в большие, хорошо уплотненные бурты. При зимней вывозке навоза площадку для укладки выбирают на возвышенном, не затопляемом весной месте. Ее очищают от снега, застилают торфом или резаной соломой слоем 20–25 см. Бурты делают шириной 3–4 м и более и высотой 2–2,5 м. На поле их размещают так, чтобы при внесении навоза максимально сократить холостые проезды навозоразбрасывателей. Расстояние между рядами буртов ($Р_р$) должно быть равно рабочему ходу навозоразбрасывателя и может быть определено по формуле

$$Р_р = 10000 Г / ДШ,$$

где Г – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т;

Д – доза навоза, т/га;

Ш – ширина разбрасывателя навоза, м;

10000 – коэффициент для пересчета на 1 га.

Расстояние между буртами в ряду ($Р_ш$) рассчитывается по формуле

$$Р_ш = ВШ / Г,$$

где В – масса бурта, т;

Ш – ширина разбрасывания навоза, м;

Г – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т.

Каждый бурт зимой укладывают не более 1–2 дней и укрывают слоем торфа или резаной соломы (до 25 см).

Снижению потерь питательных элементов при хранении навоза способствуют использование повышенных норм подстилки, применение в качестве подстилки торфа, соломы в виде резки, плотное хранение навоза, устройство жижесборников у скотных дворов и навозохранилищ, а также компостирование навоза с торфом и другими материалами, добавление фосфоритной муки (10–30 кг на 1 т навоза).

Действие навоза на почву и растения. Навоз благодаря большому содержанию органического вещества положительно влияет на физиче-

ские, физико-химические и биологические свойства почвы. При систематическом его внесении увеличивается содержание гумуса и общего азота в почве, снижается ее кислотность, повышается степень насыщенности основаниями. Песчаные и супесчаные почвы становятся более связными, увеличивается их поглотительная способность и буферность, что способствует сохранению в них влаги и питательных элементов. Глинистые почвы под действием навоза становятся более рыхлыми, легче поддаются обработке. Навоз является источником макро- и микроэлементов, а также углекислоты. Поэтому внесение навоза улучшает воздушное и корневое питание растений, что благоприятно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Доступность элементов питания навоза различна и зависит от его качества, а также почвенно-климатических условий.

Коэффициент использования азота из полуперепревшего навоза в первый год зависит от содержания в нем аммонийного азота и составляет обычно 20–25 % общего количества азота. В первый год растения усваивают главным образом аммонийный азот. В твердых выделениях животных и в подстилке азот находится в форме органических соединений, которые медленно минерализуются в почве и в первый год слабо используются растениями. В жидких выделениях азот находится преимущественно в форме растворимых соединений, легко превращается в аммиак. Поэтому, чем больше жидких выделений поглощается подстилкой, тем богаче навоз аммонийным азотом и тем выше действие такого навоза в первый год после внесения.

Использование питательных элементов навоза за ротацию севооборота (с учетом последействия) составляет: азота – 50–55 %, фосфора – 40–50 и калия – 60–75 %, что близко к использованию соответствующих питательных элементов из минеральных удобрений.

Применение подстилочного навоза. В полевом севообороте подстилочный навоз целесообразнее вносить под культуры с более длительным периодом вегетации – пропашные и озимые зерновые культуры, которые более высоко оплачивают его внесение прибавкой урожая. Особенно ценно внесение подстилочного навоза для культур, чувствительных к высокой концентрации солей в почвенном растворе в начале их роста и отзывчивых на углекислоту. Такой культурой является огурец, под который можно вносить до 80 т/га навоза. При внесении под морковь свежего или полуперепревшего навоза происходит раздвоение корнеплода, что снижает товарность продукции. Свежий навоз из-за неравномерного распределения в почве вызывает пестроту стебле-

стоя льна и снижает качество урожая. Поэтому свежий навоз лучше использовать под предшественники льна и моркови.

Под культуры с более коротким вегетационным периодом (ранние сорта капусты и картофеля) лучше вносить хорошо разложившийся навоз, под поздно убираемые культуры (поздние сорта капусты, картофеля, свеклу) и озимые зерновые используют и менее разложившийся навоз, внося его заблаговременно.

Дозы навоза устанавливают исходя из планируемой урожайности, свойств почвы, биологических особенностей культуры, качества навоза. Под овощные и пропашные культуры (кукурузу, картофель, сахарную кормовую свеклу и др.) вносят более высокие дозы (60–80 т/га), чем под зерновые (30–40 т/га). Важно своевременно заделывать подстилочный навоз в почву, так как незапаханный в течение суток он теряет до 50 % аммиачного азота.

На суглинистых почвах подстилочный навоз заделывают осенью на глубину 12–14 см, а на супесчаных и песчаных – весной на глубину пахотного слоя, так как при осеннем внесении происходят значительные потери питательных элементов.

7.1.3. Бесподстилочный навоз

В настоящее время в Беларуси более 60 % общего количества навоза приходится на бесподстилочный. Он представляет собой смесь жидких и твердых экскрементов животных с примесями воды и остатков корма. В зависимости от соотношения жидкой и твердой фракций бесподстилочный навоз подразделяют на полужидкий (влажность до 90 %), жидкий (влажность 90–93 %) и навозные стоки (влажность более 93 %).

Содержание основных элементов питания в бесподстилочном навозе зависит от содержания в нем воды и сухого вещества, вида животных, от которых он получен, и скармливаемых кормов (табл. 7.7).

Таблица 7.7. **Примерный состав перемешанного бесподстилочного навоза, %**

Виды животных	Вода	Сухое вещество	Органическое вещество	Азот общий	Азот аммиачный	P_2O_5	K_2O
Крупный рогатый скот	88,5 92	11,5 8,0	8,6 6,0	0,40 0,28	0,25 0,17	0,20 0,14	0,45 0,32
Свиньи	90,0 92,0	10,0 8,0	5,0 3,9	0,47 0,38	0,33 0,26	0,24 0,19	0,23 0,18

При одинаковой влажности перемешанный бесподстилочный 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.

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 последействие, 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.

Количество полужидкого и жидкого навоза на комплексе (Н) за стойловый период рассчитывают по формуле

$$Н = [(К + М)\ Д_с Ч_с] : 1000\ (м^3),$$

где К и М – масса кала и мочи от одной головы скота в сутки, т;

$Д_с$ – продолжительность стойлового периода, дн.;

$Ч_с$ – число голов скота;

1000 – коэффициент перевода весовых единиц в объемные ($м^3$);

1 $м^3$ жидкого навоза в среднем весит 0,95 т, полужидкого – 0,9 т.

Примерный выход бесподстилочного навоза в сутки от одной головы крупного рогатого скота – 40–55 л (25–30 л кала, 10–15 л мочи и 5–10 л воды), от одной свиньи – 10–12 л. Содержание элементов питания в бесподстилочном навозе колеблется в широких пределах и должно определяться в агрохимической лаборатории.

Для расчета выхода органических удобрений по хозяйству бесподстилочный навоз с помощью коэффициентов переводится в условный навоз влажностью 75 % (25 % сухого вещества). Коэффициент пересчета (К) устанавливается по формуле:

$$К = (100 - В_{факт}) : (100 - В_{усл}),$$

где $В_{факт}$ – фактическая влажность, %;

$В_{усл}$ – условная влажность (75 %).

Например, при фактической влажности навоза 95 % К = (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 бесподстилочного навоза. Бесподстилочный навоз, чтобы вноситься в оптимальные сроки, должен храниться 2–6 мес. Для этого строят навозохранилища: прифермские из расчета хранения 25–40 % навоза и полевые – исходя из 60–75 % от общего объема навоза.

Как прифермские, так и полевые навозохранилища должны быть надежно гидроизолированы, в противном случае они будут источниками загрязнения грунтовых вод и водоемов.

Бесподстилочный навоз при хранении расслаивается на три фракции: верхний слой – плотный плавающий, внизу – осадок, а между ними – осветленная жидкость. Чтобы обеспечить однородность навозной массы, нормальную работу насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерное внесение, навоз нужно систематически перемешивать. Твердые частицы, содержащиеся в навозе, перед поступлением в хранилище необходимо измельчать. Потери органического вещества и азота при хранении бесподстилочного навоза составляют при зимнем хранении соответственно 5–8 и 8–9 %, при летнем – 9–15 и 4–14 %. Это значительно меньше, чем потери при хранении подстилочного навоза.

Жидкий навоз перед использованием на удобрение обеззараживается на очистных сооружениях термической обработкой, специальными химическими препаратами. Наиболее доступно обеззараживание способом метанового брожения, при котором не происходит потерь органического вещества и азота и одновременно получается горючий газ, который можно использовать как топливо.

Применение бесподстилочного навоза. Внесение бесподстилочного навоза на поля может проводиться по следующим технологическим схемам: 1) прифермское хранилище – трубопровод – дождевальная установка (или цистерна-разбрасыватель) – поле; 2) прифермское навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле; 3) прифермское навозохранилище – трубопровод – полевое хранилище – цистерна-разбрасыватель – поле; 4) разделение навоза на твердую и жидкую фракции, первая вносится, как и подстилочный навоз, вторая – по одной из трех первых схем, но чаще с помощью дождевальных установок.

Полужидкий навоз компостируется с торфом, соломенной резкой. Бесподстилочный навоз также запахивают с измельченной соломой, оставленной на поле после уборки, или с разбросанным предварительно торфом. Перед дождеванием бесподстилочный навоз разбавляют в смесительной камере водой в соотношении 1:8–10 в вегетационный

период и 1:2–3 – во вневегетационный. Бесподстилочный навоз можно применять не только в качестве основного удобрения, но и для подкормки культур. Дозы внесения жидкого навоза под сельскохозяйственные культуры определяются по азоту и дифференцируются в зависимости от типа и гранулометрического состава почвы.

Так, для дерново-подзолистых суглинистых почв предельная доза органического азота составляет 250 кг/га, супесчаных на морене – 230, супесчаных и песчаных на песках – 200, для торфяных – 150 кг/га. Потребность растений в азоте за счет бесподстилочного навоза может удовлетворяться не больше чем на 70–80 %. На почвах связного гранулометрического состава бесподстилочный навоз можно вносить весь теплый период года, а на легких, во избежание вымывания азота, – только весной под яровые. При поверхностном внесении его необходимо немедленно заделывать в почву.

На лугопастбищных угодьях жидкий навоз можно вносить, используя дождевальные установки, но не позднее, чем за 21 день до стравливания. Экологически самый безопасный способ внесения жидкого навоза – заделка его в почву агрегатом АВМФ-2,8 во время междурядной обработки пропашных культур. Такое внесение повышает урожайность основных кормовых культур (свеклы, кукурузы, трав и др.) не менее чем на 10–15 % и в 7–10 раз снижает потери питательных элементов.

При использовании бесподстилочного навоза, особенно с нарушением технологии его внесения, существует опасность загрязнения водоемов, грунтовых вод, почвы нитратами. При систематическом его внесении на одни и те же участки может произойти накопление калия, кальция, магния, натрия, тяжелых металлов, ионов хлора и сульфатионов, что отрицательно скажется на химических и физических свойствах почвы и может привести даже к ее засолению. Из-за внесения больших доз бесподстилочного навоза может повыситься содержание нитратов в растениях, особенно в ранние фазы их развития, а также в растениеводческой продукции.

7.1.4. Птичий помет

Птичий помет – ценное быстродействующее органическое удобрение. В зависимости от особенностей технологии выращивания птицы помет может быть *подстилочный* – при содержании птицы на глубокой несменяемой подстилке и *бесподстилочный* – при клеточном со-

держании кур-несушек. От вида птицы, возраста, типа кормления и содержания птицы зависит химический состав помета (табл. 7.8 и 7.9).

Таблица 7.8. **Химический состав птичьего помета, % от сырого вещества**

Птица	Выход в год, кг	Влажность, %	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_3
Куры	6	56	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7	0,4
Утки	8	70	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2	0,3
Гуси	10	76	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2	1,1
Индюки	8	75	0,7	0,6	0,5	0,5	0,2	0,3

Куриный помет по своим удобрительным качествам превосходит навоз, а по быстроте 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.

Таблица 7.9. **Состав различных видов подстилочного помета при 40%-ной влажности, % на сырое вещество**

Виды подстилки	N	P_2O_5	K_2O
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

Влажность подстилочного помета колеблется от 30 до 50 %. Наиболее высокого качества пометное удобрение получают на основе торфа и соломы, используемых в качестве подстилки.

Потери азота из птичьего помета можно также предотвратить добавлением к нему суперфосфата в количестве 6–10 % от массы 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 мажущуюся массу и при влажности 64 % содержит около 2 % азота, в том числе 0,5 % – аммиачного, 1,4 – фосфора и 0,6 % – калия. Свежий бесподстилочный помет, который еще не содержит аммонийного азота, можно подвергнуть быстрой сушке на сушильных установках при температуре 600–800 °С. Из 1 т сырого помета получается 300–350 кг гранулированного или порошкообразного концентрированного органического удобрения влажностью 15–20 %. При влажности 20 % оно содержит: N – 4,5 %, P_2O_5 – 3,7, K_2O – 1,8, CaO – 4,5, MgO – 1,6 %. Азотистые соединения представлены главным образом белками и продуктами их распада; pH 6,8–7,8.

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 № 1–3). Купогран № 1 содержит 3,7 % азота (в том числе 0,5 % аммиачного), 4,98 % калия и 3,35 % фосфора; № 2 и № 3 соответственно: азота – 2,7 % (0,25 % NH_4) и 4,0 % (0,5 % NH_4), калия – 10,3 и 4,99 и фосфора – 3,15 и 3,5 %. Купогран, внесенный в эквивалентных минеральным удобрениям дозах, по содержанию азота, фосфора и калия дает такие же результаты.

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.

Дозы внесения пометных удобрений приведены в табл. 7.10.

Таблица 7.10. **Примерные нормы внесения пометных удобрений под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых почвах, т/га**

Культуры	Помет			Компост
	сухой	естественной влажности	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	–	–

7.1.5. Торф

Торф – это растительная масса, разложившаяся в разной степени в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха. Торф включает негумифицированные растительные остатки, перегной и минеральные соединения.

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.

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: нормальнозольный (содержание золы до 12 % на сухое вещество) и высокозольный. 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 (табл. 7.11).

Торф с содержанием вивианита $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (28,3 % P_2O_5), встречающийся в некоторых месторождениях, можно использовать в качестве удобрения без компостирования, устанавливая дозу внесения по фосфору.

Верховой торф образуется на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пушицы и других растений, не требовательных к элементам питания и влаге.

Таблица 7.11. **Химический состав различных типов нормальнозольного торфа**

Торф	pH_{KCl}	Содержание, % абсолютно сухого вещества					
		Органическое вещество	N	P_2O_5	K_2O	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

Переходный торф по своим свойствам занимает промежуточное положение между верховым и низинным. Его используют для подстилки животным и приготовления компостов. Все виды торфа богаты органическим веществом, а следовательно, азотом, но бедны фосфором и калием. Большая часть азота в торфе находится в малодоступной органической форме и только 2–3 % в минеральной. Органическое

вещество торфа очень устойчиво к разложению. Поэтому его используют для приготовления компостов.

7.1.6. Компосты

Компосты (от лат. *compositus* – составной) – органические удобрения, получаемые в результате разложения смеси навоза с торфом, землей, растительными остатками, фосфоритной мукой и т. п. под влиянием деятельности микроорганизмов. 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.

Правильно приготовленные компосты по удобрительной ценности не уступают навозу.

В соответствии с техническими условиями для компостирования используют торф влажностью до 50 %, помет до 90, навоз до 92 %. Смесь должна иметь влажность 65–70 %, быть сыпучей. Содержание фосфора – 1,2–1,3 % на абсолютно сухое вещество. В зависимости от компонентов компосты бывают торфонавозные, торфожижевые, торфопометные, торфофекальные, навозолигнинные, компосты из бытовых отходов и сборные.

Очаговый способ пригоден для зимнего компостирования при температурах до –20 °С. На слой торфа толщиной 30 см укладывают навоз кучами по 200–300 кг через 1–1,5 м, затем снова насыпают торф слоем 50 см. Длина бурта произвольная, ширина у основания 4–6 м, высота до 3 м. В оттепель, при стабильных плюсовых температурах массу перемешивают. Время созревания компоста – 3–4 мес.

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 °С. На торфяную подушку слоем 20–30 см равномерно укладывают навоз. Затем бульдозером (на площадках с твердым покрытием) или тяжелой дисковой бороной (на грунтовых площадках) торф с навозом 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 рас-

положению на местности – ниже всех этих строений. Место должно быть ровным, с твердым покрытием, с пленочным защитным экраном, иметь ограждения (водонепроницаемые борта), а также устройства для сбора и отвода ливневых вод.

Цеховым способом – круглогодично (в цехе) приготавливают смеси (компосты) смесителями РСП-10, ПРТ-10 и ПРТ-16.

В торфонавозных компостах в среднем содержится 0,6–3,5 % азота, 0,2–1 фосфора, 0,6–1,5 % калия.

Торфожижевые компосты. 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.

Смешивать с фекалиями можно все виды торфа. Соотношение компонентов зависит от степени разбавления фекальных масс, влажности и степени разложения торфа.

На 1 т торфа добавляют около 0,5 т фекалий. Фекалии обычно содержат 0,5–0,8 % азота, 0,2–0,4 фосфора и 0,3–0,4 % калия. Лучше вносить торфофекальные компосты на второй год после закладки, не рекомендуется применять их под овощные культуры.

Торфопометные компосты. Они могут готовиться из помета (1 часть) и торфа (2 части) на птицефабрике или в хозяйстве; из помета (1 часть) и почвы (1,5 части) – на краю удобряемого поля; из помета (3 части) и опилок (2 части) – на птицефабрике. Для ускорения разложения в эти компосты добавляют навозную жижу или азотное удобрение (2,8 кг аммиачной селитры или 2,2 кг мочевины на 1 ц компостируемой массы). Компост созревает от 3 мес до двух лет в зависимости от компонентов, температуры, влажности, условий аэрации и др. Очень медленно разлагаются опилки и другие отходы хвойных деревьев. Компост готовят также из коры (1,5 части) и помета (1 часть), добавляют навозную жижу или азотные удобрения. Из-за низкого содержания питательных элементов (в 2 раза меньше, чем в навозе) транспортировка такого компоста на расстояние более 4 км нецелесообразна.

В торфопометных компостах азота обычно содержится не менее 0,7 %, фосфора – 0,45 и калия – 0,38 %, влажность – 70 %. Дозы торфопометного компоста составляют для картофеля 40–50 т/га, кукурузы и овощных культур – 40–60, зерновых культур – 20–25 т/га.

Пометноопилочный компост содержит 0,5 % азота, 0,35 фосфора и 0,25 % калия. Компосты с корой содержат питательных элементов в 2 раза меньше, поэтому их вносят в дозах вдвое больших, чем навоз, и дополнительно вносят в почву 2,5 кг азота на 1 т компоста – сверх потребности в нем растений. Пометнопочвенный компост при влажности 45 % содержит общего азота 0,23 %, фосфора – 0,16 и калия – 0,07 %.

Смешанные (сборные) компосты готовят из торфа, листьев, опилок, ила (добавляя тонкие ветки), ботвы, дерновой земли, домового мусора, бумаги, золы, извести (2–3 % массы) и других отходов. Через каждые 20–30 см компоненты поливают фекалиями или водой и укрывают слоем земли 6 см. Через 2 мес компост перелопачивают. Для ускорения разложения отходов добавляют по 15 кг аммиачной селитры и суперфосфата на 1 т компоста. Созревает такой компост от 3 до 12 мес, т. е. до тех пор, пока, как и любой другой, не превратится в однообразную землистую массу. Приготовление и использование торфяных компостов требует значительных затрат труда и средств. Перевод технологии производства торфонавозных и других компостов на промышленную основу позволяет значительно снизить себестоимость этих удобрений, однако для этого необходима система специальных машин.

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 – не растворимый в воде отход гидролиза древесины, включающий 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/м^3.

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 – слой доломитовой муки (30–35 кг на тонну лигнина). Массу перемешивают БДТ-3 восьмикратным проходом, после чего бульдозе-

ром делают бурты, в которых она выдерживается от 3 до 12 мес, – пока не достигнет pH 6,2. Нейтрализованный таким образом лигнин завозят в хозяйства, где готовят лигнинонавозные компосты (1:1), лучше это делать весной и летом. Во время компостирования включают только периоды со среднесуточной температурой выше +10 °С. Для ускорения компостирования бурты не делают высокими (не более 1,5 м), а компоненты хорошо перемешивают. Для усиления микробиологических процессов и ускорения гумификации в компостируемую массу добавляют фосфоритную муку (2–3 %). Ее распределяют по лигнинной подушке, перемешивают. Затем на подушку накладывают слой навоза, снова все перемешивают и сгребают смесь в бурт. При благоприятной температуре окружающей среды в смеси также повышается температура. При температуре 40–60 °С процесс компостирования продолжается не менее 100–120 дней.

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. Хорошо приготовленный лигнонавозный компост не уступает торфонавозному по эффективности и при внесении в дозе 30 т/га обеспечивает прибавку урожая озимой ржи 3,0–3,3 ц/га, клубней картофеля – 26–27 ц/га.

Нетрадиционные органические удобрения. Отходы городского хозяйства также могут использоваться как удобрение. В среднем в городском мусоре содержится 0,6–0,7 % азота, 0,5–0,6 фосфора и 0,6–0,8 % калия (в сухом веществе). 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 составляет 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).

В качестве органических удобрений используется также *осадок сточных вод.* После выдержки на площадках с твердым покрытием он превращается в твердую сыпучую массу, которая должна содержать 40 % органического вещества (от массы сухого вещества), 1,6 азота,

0,6 фосфора, 0,2 % калия, pH 6,7–7. Состав сточных вод, их осадка (ОСВ) и образующегося при биологической очистке ОСВ активного ила сильно различается в зависимости от вида, производства. Например, содержание основных элементов питания растений в осадке сточных вод может колебаться и составляет: азота – 1–7 %, фосфора – 1–4, калия – 0,2–3 %.

Компост из осадка сточных вод с торфом готовят в соотношении 1:2 с добавлением 15 кг извести на тонну компоста. Срок созревания – два месяца летом и четыре зимой.

Обязательные условия использования осадка сточных вод и компостов в качестве удобрения – соблюдение требований охраны окружающей среды. Они должны контролироваться на содержание в них токсичных веществ.

7.1.7. Вермикомпост, или биогумус

Вермикомпост, или биогумус, – это продукт переработки навоза и различных органических отходов червями. Биогумус содержит *макро-* и *микроэлементы*, обладает биологической активностью, содержит *гормоны*, регулирующие рост растений (*ауксин, гиббереллин*), важные *ферменты – фосфатазы, каталазы* и т. д. При этом уменьшается число сальмонелл, вирусов.

Наиболее широко используется в вермикультуре навозный червь *Eusenia soetieda*, так называемый красный гибридный калифорнийский червь, выведенный в конце 40-х гг. XX столетия в США. Он характеризуется большой скоростью роста, плодовитостью, продолжительностью жизни. Максимального размера достигает в 7-месячном возрасте. Его длина 6–10 см, темно-красного или красно-коричневого цвета.

Требования к условиям внешней среды: оптимальный температурный режим – 19–25 °С; режим выживания – 4–40 °С; частичная гибель популяции – 0–4 °С; полная гибель популяции – ниже 0 °С и выше 42 °С; оптимальная влажность субстрата – 70–80 %; почвенная кислотность – 6,8–7,2 pH, периодическая аэрация субстрата. На жизнедеятельности червя отрицательно сказывается наличие в субстрате пестицидов, хлора, аммиака, нерастворимых солей. Гибель червей чаще всего происходит из-за неприемлемости корма, неподходящих условий внешней среды, высокого содержания в корме протеина (более 45 %), образования в субстрате аммиака, сероводорода, застоя воды и пони-

жения температуры ниже критической. Врагами дождевых червей являются крысы и мыши, кроты, птицы, муравьи и мокрицы. Наиболее опасны кроты.

В закрытых отапливаемых помещениях производством биогумуса можно заниматься круглогодично с применением стеллажей и контейнеров. Полки стеллажей делаются деревянными. По их краям устраивают бортики высотой 30 см. Для удобства выемки биогумуса бортики желательно делать откидными. Расстояние между полками по высоте должно быть не более 70 см.

Контейнеры делаются в виде ящиков размером 1,0×0,5×0,25 м, что удобно для работы. По краям контейнера приделывают ручки. В процессе производства контейнеры ставят один на один, но не более трех. Контейнерный способ, как и все остальные, основан на особенности червя жить в слое субстрата 25–30 см и подниматься в верхние слои по мере поедания корма.

Наиболее простым в обслуживании и наименее капиталоемким способом является организация вермихозяйства с применением лож (буртов) как на открытых площадках, так и в помещениях. При расположении лож в помещениях наиболее удобными являются неиспользуемые животноводческие помещения. При размещении лож на открытых площадках необходимо исключить возможный застой воды, который губителен для червей. Поэтому их располагают на небольших возвышенностях с уклоном 1–3°.

В компонентах субстрата не должно быть инородных загрязнений, таких как камни, металл, куски дерева, стекло. Количество целлюлозосодержащих веществ должно составлять не менее 20 %. При этом необходимо наличие минеральных добавок в виде гашеной извести, мела, сланцевой золы. Целлюлозосодержащими добавками могут быть мелконарезанная солома, торф (желательно верховой с низким pH), навоз КРС с отлежкой более 2 лет, сапропель.

Подготовка субстрата включает:

1) подбор и тщательное перемешивание компонентов;

2) тщательный полив субстрата с насыщением влагой до 70–80 % в течение 3–5 сут;

3) формирование буртов: в летний период – шириной 1,5–2,0 м и высотой 0,8–1,0 м, в зимний – шириной до 3,0 м и высотой 2 м;

4) укрытие буртов соломой;

5) ферментация субстрата. После формирования буртов и укрытия их соломой внутри происходит процесс подъема температуры до 50–70 °С, которая через некоторое время начинает падать.

Если контроль показывает падение температуры, то производят перебивку буртов с обильным поливом, накрывают соломой еще на 1 мес. Средний срок созревания субстрата в летний период составляет 3–4 мес, в зимний – 4–5. Храниться субстрат может 8–10 мес, при этом добавляется мел или гашеная известь 3–4 кг на 1 $м^3$ субстрата. Требования к составу компоста приведены в табл. 7.12.

Дозы биогумуса составляют 3–5 т/га. Урожайность зерновых от биогумуса повышается на 6–10 ц/га, картофеля – 50–60 ц/га. Сплошное внесение 2,5 т/га и локальное 250–300 кг/га дает хороший эффект у садоводов и овощеводов-любителей.

Таблица 7.12. **Требования к составу биогумуса**

Показатели	Россия (прейскурант 708201)	ФРГ (ГОСТ)	Польша (ГОСТ)	АТП «Горецкое», Беларусь (опыты)
Органическое вещество, %	40–45	40–45	40–60	43–60
Отношение C:N	15	15		15
Доступный азот, %	Не менее 1,5	Не менее 1,5	1,5–3,0	1,8–2,0
P_2O_5, %	1,2	1,2	1,8–4,0	1,8–3,0
K_2O, %	0,5	0,5	1,5–3,0	0,75
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

7.1.8. Сапропель

Сапропель (от греч. *sapros* – гнилой и *pelos* – грязь, ил) – донные отложения пресноводных водоемов различной окраски – от розовой до темно-коричневой. Химические и физически показатели сапропелевых удобрений и их состав приведены в табл. 7.13 и 7.14.

Таблица 7.13. **Физические и химические показатели сапропелевых удобрений**

Наименование показателя	Нормы по видам удобрений		
	Органические	Органо-кремнеземистые	Органо-известковистые
Массовая доля частиц крупнее 10 мм, %, не более	20	20	20
Массовая доля влаги, %, не более	60	60	50
Зольность, %, не более	50	70	65
Массовая доля общего азота, % на сухой продукт, не менее	1,5	1,0	Не регламентируется
Обменная кислотность, pH, не менее	5,0	5,0	Не регламентируется
Массовая доля оксида кальция, %, не менее	–	–	17
Удельная активность радионуклидов (цезий 137), Бк/кг, не более	300	–	–

Таблица 7.14. **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

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 оправданна 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, 0,25–2,0 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.

7.1.9. 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*.

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 (табл. 7.15).

Таблица 7.15. **Средний состав зеленого удобрения**

Культуры	Влажность, %	Содержание, кг/т					
		Органическое вещество	$N_{общ}$	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Бобовые	80	140	5,0	1,1	3,0	3,0	1,4
Крестоцветные	80	140	4,0	1,3	3,8	2,0	1,0
Злаковые	80	140	3,5	1,2	2,8	1,0	0,4
Смесь	80	140	4,2	1,2	3,2	2,0	1,0

При запашке зеленой массы сидератов в количестве 35–40 т/га в почву попадает 150–200 кг азота, что равноценно 30–40 т навоза.

Зеленое удобрение улучшает агрохимические, физико-химические и физические свойства почвы. Оно повышают величину pH, сумму поглощенных оснований, снижает 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.

На зеленое удобрение обычно возделывают бобовые культуры (люпин, донник, горох, сераделлу), которые накапливают большое количество – до 150–200 кг/га – азота, что равноценно 30–40 т/га навоза. По содержанию азота 1 т зеленого удобрения равноценна 1 т навоза.

Биологическая характеристика сидеральных культур приведена в табл. 7.16 и 7.17.

На зеленое удобрение используют выращивание сидератов в качестве самостоятельной или промежуточной культуры. Использование того или иного вида сидерата зависит от климатических условий, количества тепла, влаги, условий местности, гранулометрического состава

почвы, наличия удобрений и семян. При промежуточном использовании сидеральные культуры высевают между основными культурами. Промежуточные культуры в свою очередь подразделяются на следующие группы: подсевные, пожнивные, поукосные и озимые.

Таблица 7.16. **Характеристика сидератов в промежуточных посевах**

Культуры	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

Таблица 7.17. **Биологическая характеристика сидеральных культур**

Культуры	Период от посева до максимальной продуктивности надземной массы, дн.	Потребность в тепле – сумма активных температур, °С	Показатель засухоустойчивости культуры
Редька масличная	45–55	650–800	Среднезасухоустойчивая
Сурепица яровая	40–50	600–750	Слабозасухоустойчивая
Горчица белая	50–60	700–800	То же
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

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 (рис. 7.1).

Рис. 7.1. Применение зеленого удобрения

Зеленое удобрение улучшает плодородие почвы (рис. 7.2).

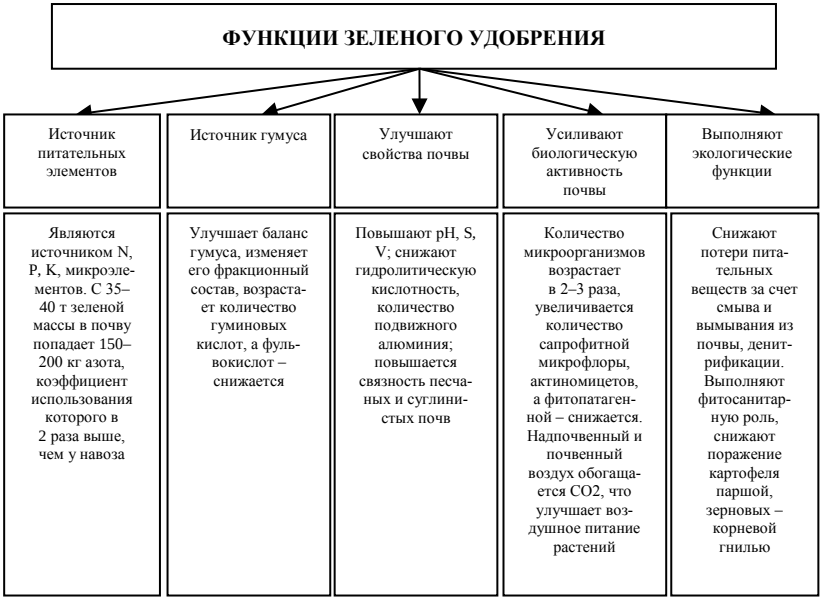

Рис. 7.2. Влияние зеленого удобрения на свойства почвы (В. Г. Минеев)

В крупнотоварном производстве агроэкономически целесообразно отавное применение зеленого удобрения: зеленая масса в этом случае используется на корм, а отава на удобрение.

Кроме прямого влияния на улучшение плодородия почвы и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур сидераты снижают переуплотнение почвы, улучшают структуру, предотвращают водную и ветровую эрозию, вымывание элементов питания из почвы.

7.1.10. Солома

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.).

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 широкое – усиливает процессы иммобилизации азота.

Широкое отношение углерода к азоту (80–100:1) сдерживает биохимическое разложение соломы, поэтому его необходимо уменьшить. В связи с этим немецкие ученые H. B. Hutchinson и E. 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. Так, на 1 т соломы требуется внесение различного количества дополнительного азота.

Основные функции соломы в качестве удобрений представлены на рис. 7.3. Благодаря этим функциям солому активно применяют в качестве удобрения различными способами.

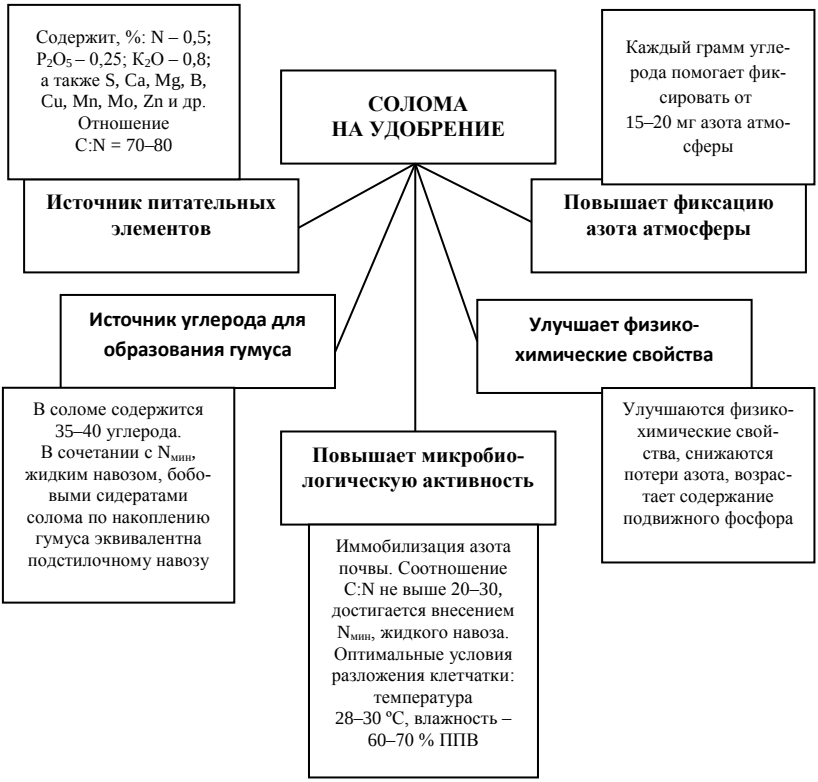

Рис. 7.3. Основные функции соломы (В. Г. Минеев)

Приемы внесения и способы заделки соломы приведены на рис. 7.4.

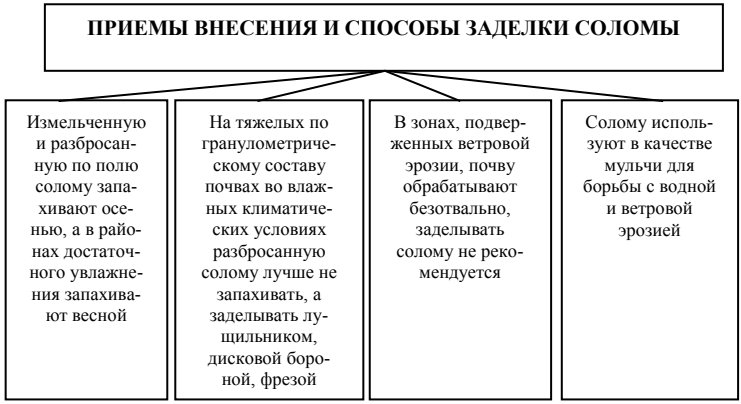

Рис. 7.4. Использование соломы на удобрение

Солома по содержанию азота, фосфора не уступает подстилочному навозу, а по содержанию калия значительно его превосходит (табл. 7.18).

Таблица 7.18. **Средний состав соломы и соотношение углерода к азоту в соломе сельскохозяйственных культур, % в сухом веществе**

Культуры	Органический углерод	Содержание, % в сух. в-ве					Соотношение углерода к азоту (C/N)	Добавка азота на 1 т соломы, кг д. в.
		N	P_2O_5	K_2O	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 озимая	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 яровая	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

Приемы эффективного использования соломы показаны на рис. 7.5.

Рис. 7.5. Приемы эффективного использования соломы (В. Г. Минеев)

Измельченную и разбросанную по полю солому запахивают осенью при подъеме зяби или весной в районах достаточного увлажнения.

На почвах тяжелого гранулометрического состава и во влажных климатических условиях разбросанную по полю солому не запахивают, а заделывают поверхностно лущильником, дисковой бороной или фрезой. Такой способ заделки в этих случаях дает лучший эффект по сравнению с заделкой ее плугом. Там, где возможно, после поверхностной заделки соломы желательно посеять промежуточную пожнивную, лучше бобовую культуру.

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.

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.

На площадях, удобренных соломой, желательно в первую очередь размещать бобовые или пропашные культуры. При посеве на этих площадях небобовых культур полезно внести азотные удобрения из расчета 8–10 кг азота на 1 т соломы зерновых культур и 7–8 кг – 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.

Хороший эффект наблюдается при комбинации удобрения соломой и зеленого удобрения. При этом могут быть использованы различные виды зеленого удобрения: самостоятельные посевы, пожнивные или подсевные культуры. Лучшее действие отмечается при использовании на зеленое удобрение бобовых культур, так как солома оказывает положительное действие на рост бобовых и фиксацию ими азота из атмосферы.

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.

Во время уборки озимых культур солому измельчают, равномерно распределяют по поверхности поля и заделывают на глубину 8–10 см. Лучше после заделки соломы сеять зернобобовые культуры, так как под другие, особенно зерновые, необходимо вносить по 10–12 кг азота на тонну запаханной соломы.

7.2. Бактериальные удобрения

Бактериальные удобрения – это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур. Ориентация растениеводства на экологическую и экономиче-

скую целесообразность предусматривает внедрение современных достижений биотехнологии, в том числе бактериальных удобрений, обеспечивающих использование биологических механизмов питания и защиты растений. Важными аргументами в пользу бактериальных удобрений являются полная безопасность для человека и окружающей среды, экологическая безопасность и возможность снижения доз минеральных удобрений и ядохимикатов.

При применении бактериальных удобрений обеспечивается повышение урожайности и качества сельскохозяйственных культур за счет биологической азотфиксации атмосферного азота, микробной мобилизации основных элементов минерального питания, стимуляции роста, повышения устойчивости растений к корневым инфекциям.

Наиболее широкое распространение получили препараты, содержащие азотфиксирующие микроорганизмы. Биологический азот в почве накапливается в результате симбиотической, несимбиотической и ассоциативной азотфиксации. Симбиотическую азотфиксацию выполняют клубеньковые бактерии, живущие на корнях бобовых культур. В симбиозе с клубеньковыми бактериями бобовые способны удовлетворить до 60–90 % своей потребности в азоте за счет биологической азотфиксации.

По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, однолетние зернобобовые культуры (люпин, горох и др.) за сезон связывают на 1 га от 150–200 кг азота, примерно половина его остается в почве. Многолетние бобовые травы продуцируют значительно больше азота. Клевер за вегетацию усваивает 200–250 кг азота из атмосферы, в почве после себя оставляет 75–100 кг азота. Люцерна продуцирует в симбиозе с клубеньковыми бактериями и связывает 300–350 кг азота, оставляя после себя в почве 120–150 кг азота.

Бактериальные удобрения производят в США (20 млн/га порций ежегодно), Австрии (6–9 млн), Бразилии (4–6 млн), Индии (2–4 млн), Канаде (2,5 млн), Аргентине (2–3 млн), Уругвае (1–2 млн), России (0,3 млн).

Институтом микробиологии НАН Беларуси для бактеризации бобовых культур было разработано бактериальное удобрение Сапронит, которое применяется в республике в настоящее время. Инокуляция семян бобовых культур Сапронитом повышает эффективность бобово-ризобактериального симбиоза, урожайность бобовых культур, улучшает качество продукции.

Основными условиями формирования полноценного симбиоза клубеньковыми бактериями являются оптимизация калийного и фосфорного питания, внесение микроудобрений (B, Mo, Co), регулирование

почвенной кислотности, соблюдение необходимых агротехнических приемов и бактеризация семян бобовых культур специфичными штаммами клубеньковых бактерий.

Сапронит – препарат клубеньковых бактерий, субстратным носителем которого является органический сапропель. Изготавливается жидкий препарат для различных бобовых культур. Объем гектарной нормы 0,2 л. Предпосевная обработка 1 т семян зернобобовых культур проводится рабочей смесью: 1 л сапронита и 10 л воды (непосредственно перед использованием).

Соя Риз – сыпучая препаративная форма биоудобрения, получаемая путем иммобилизации на торфяном субстрате-носителе клеток эффективного питания клубеньковых бактерий. Улучшает азотное питание. Повышает урожайность семян сои от 5 до 135 %, зеленой массы до 30 %.

На основе азотобактера (свободноживущего азотфиксатора) методами генной инженерии создан бактериальный препарат **Ризофил.** По результатам испытаний Ризофил повышает урожайность томатов и огурцов в среднем на 25 %, заменяя 20 % азота минеральных удобрений биологически фиксированным.

Улучшить азотное питание небобовых культур способны **ассоциативные азотфиксаторы.** Размеры ассоциативной азотфиксации различны и, согласно литературным данным, в зависимости от вида растений и почвенно-климатической зоны колеблются от 3–50 кг азота за год в странах с умеренным климатом до 200–600 кг в странах с тропическим климатом.

Активными ассоциативными азотфиксаторами являются *Azospirilla* и *Klebsiella planticola* 5. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, усвоение азота атмосферы зерновыми культурами за счет несимбиотической азотфиксации за вегетацию составляет 33–38 кг/га, многолетними злаковыми травами – 29–45 кг/га. Основные пути активизации природного потенциала ассоциативной азотфиксации – оптимизация минерального питания небобовых культур и применение бактериальных удобрений на основе активного питания диазотрофов. Эти микроорганизмы размещаются в верхних слоях растительной ткани корней и в благоприятных условиях могут обеспечивать до 40–50 % потребности растений в азоте.

В Беларуси на основе этих ассоциативных диазотрофных микроорганизмов разработаны бактериальные удобрения **Азобактерин** и **Ризобактерин** соответственно.

Азобактерин – бактериальное удобрение широкого спектра действия, разработанное в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Оно применяется для зерновых культур, многолетних трав и льна-долгунца.

Азобактерин изготавливается в жидкой форме. Объем гектарной нормы – 0,5 л/га – может быть использован как для обработки семян, так и для обработки посевов. Предпосевная обработка 1 т семян зерновых культур проводится рабочей смесью: 1 л азобактерина, 1–2 л раствора прилипателя и 3–4 л воды. Обработка посевов проводится смесью из расчета на 1 га: 0,5 л Азобактерина + 150–200 л воды.

Ризобактерин – бактериальное удобрение на основе ассоциативного диазотрофа *Klebsiella planticola* 5 для зерновых культур, обладающего множественным эффектом (фиксация атмосферного азота, биосинтез индолилуксусной кислоты, подавление жизнедеятельности корневых патогенов). Удобрение разработано в Институте микробиологии НАН Беларуси.

Применение Ризобактерина позволяет повысить урожайность зерна на 10–15 %, снизить химическую нагрузку на почву и дозы азотных удобрений на 20–30 %. По данным кафедры агрохимии УО БГСХА, урожайность зерна овса при инокуляции семян Ризобактерином увеличивалась на 5,2–8,7 ц/га, содержание сырого белка в зерне – на 0,9–1,1 %. Урожайность зерна яровой пшеницы при применении Ризобактерина возрастала на 6,5 ц/га, озимой ржи – 6,2 ц/га.

Ризобактерин изготавливается в жидкой форме, объем гектарной дозы 0,2 л. Нормы расхода Ризобактерина для обработки 1 т семян яровой пшеницы составляют 1,1 л, для озимой ржи – 0,9 л, ячменя – 1,1 л. Непосредственно перед обработкой семян препарат разбавляют 10 л воды.

Разработана также усовершенствованная форма Ризобактерина с повышенным сроком хранения, прикрепляемостью и выживаемостью продуцента на корнях зерновых культур – **Ризобактерин-С**.

В условиях Беларуси фосфор второй по значимости элемент питания, играющий важную роль в формировании урожая и качества сельскохозяйственных культур.

Используя бактериальные удобрения на основе фосфатмобилизующих бактерий, можно повысить доступность труднорастворимых фосфатов для сельскохозяйственных культур. Из фосфатмобилизующих бактериальных удобрений в Беларуси наибольшее распространение получил фитостимофос.

Фитостимофос – фосфатмобилизующее бактериальное удобрение, действующим началом которого является живая культура и ростостимулирующие метаболиты микроорганизмов *Agrobacterium radiobacter*. Наряду со способностью трансформировать труднорастворимые фосфаты железа, алюминия и кальция в доступные для растений соединения фосфора, продуцент биопрепарата синтезирует биологически активные соединения (а-ИУК, рибофлавин, аминокислоты), а также хорошо приживается в ризосфере и колонизирует корни растений.

Фитостимофос эффективен при возделывании зерновых, зернобобовых и овощных культур, стимулирует прорастание семян, физиологические процессы в растениях. За счет повышения подвижности труднорастворимых фосфатов почвы позволяет компенсировать 15–30 % применяемых фосфорных удобрений. Инокуляция семян сельскохозяйственных культур этим удобрением повышает урожайность, по обобщенным данным Института микробиологии НАН Беларуси, в среднем на 20 %.

Фитостимофос изготавливается в жидкой форме, объем гектарной нормы – 0,2 л. Норма расхода фитостимофоса, разбавленного в 10 л воды для обработки 1 т семян яровой пшеницы составляет 1,1 л, для кукурузы – 5,0 л, зернобобовых – 1,0 л, сои – 2,5 л.

В целом ряде стран сейчас успешно применяют совместную инокуляцию семян различных культур препаратами азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, что позволяет одновременно улучшать азотное и фосфорное питание растений.

Ризобактерин + Фитостимофос – синергические препараты на основе диазотрофных и фосфатмобилизующих микробов-интродуцентов. Форма препарата жидкая.

Ризофос выпускается трех марок: для галеги, люцерны и клевера. Предназначен для усиления азотфиксирующей способности бобовых культур и фосфатмобилизации. Повышает урожайность семян галеги на 6,7 ц/га, люцерны – на 2,7, клевера – на 2,6 ц/га, зеленой массы – на 4,1, 16 и 8 % соответственно. Норма расхода – 200 мл/га.

Технология внесения бактериальных удобрений. Наиболее эффективно проведение предпосевной обработки семян бактериальными удобрениями в день посева в специальных помещениях или под навесом. Инокуляция семян бактериальными удобрениями осуществляется в машинах для протравливания семян ПС-10, КПС-10, ПС-10А, Мобитокс-Супер, Грамакс-В, Хеге-11, Ребер при условии предварительной очистки от химических препаратов, содержащих ртуть.

Предпосевная обработка семян бактериальными удобрениями может проводиться как с применением прилипателя, так и без него. В качестве прилипателя можно использовать 2%-ный водный раствор NaКМЦ. Для приготовления рабочего раствора прилипателя используются емкости, оснащенные перемешивающим устройством. Высушенный и измельченный NaКМЦ растворяют в воде при температуре 40–45 ^{o}C. Для обеспечения равномерного набухания в расчетное количество полимера при постоянном перемешивании добавляют 2/3 необходимого объема воды. Ориентировочная длительность перемешивания – 30–40 мин. В случае неполного растворения полимера перемешивание продолжают.

При работе с бактериальными удобрениями работники должны быть обеспечены спецодеждой и индивидуальными средствами защиты: резиновыми перчатками, защитными очками, респираторами. При работе с бактериальными удобрениями не следует допускать попадания брызг на кожу и в глаза, что может вызвать раздражение. При попадании жидкости на покровы кожи и в глаза их следует тщательно промыть обильным количеством воды.

Бактериальные удобрения следует хранить в сухих помещениях, защищенных от попадания осадков и прямых солнечных лучей, оптимальная температура хранения от 0 до +4 ^{o}C. Срок годности зависит от вида и препаративной формы бактериальных удобрений.

8. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПОД ОСНОВНЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

8.1. Озимые зерновые культуры

8.1.1. Озимая пшеница

Озимая пшеница более требовательна, чем озимая рожь, к плодородию почв и отрицательно относится к повышенной кислотности. Наиболее пригодными для этой культуры являются автоморфные дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые моренными суглинками почвы с pH_{KCl} 6,0–7,0, содержанием гумуса 2 % и выше, подвижного фосфора и калия более 150 мг/кг. Для формирования 1 т основной продукции и соответствующим количеством побочной продукции для озимой пшеницы требуется в среднем 30 кг N, 11 кг P_2O_5 и 20 кг K_2O.

Озимая пшеница менее зимостойкая и засухоустойчивая, чем рожь.

Самыми ответственными периодами в питании озимой пшеницы являются 2 периода:

- от всходов до ухода посевов в зиму;
- весной в начале возобновления вегетации.

В первый период озимая пшеница предъявляет повышенные требования к фосфорно-калийному питанию, которое способствует мощному развитию корневой системы и кущению, накоплению сахаров, что важно для хорошей перезимовки. В этот период озимая пшеница должна быть умеренно обеспечена азотом, так как повышенное азотное питание понижает устойчивость растений к перезимовке. Успешной перезимовке способствует внесение органических удобрений.

При отрастании рано весной озимые нуждаются в усиленном азотном питании, так как в это время запасы минерального азота в почве еще невелики.

Это связано с тем, что процессы мобилизации азота почвы в осенне-зимний период протекают слабо, а имеющиеся нитраты теряются из корнеобитаемого слоя вследствие вымывания.

При посеве в рядки эффективно вносить фосфорные удобрения, так как слабая корневая система озимых зерновых в начале роста не может извлечь достаточного количества фосфора из почвы. Поэтому фосфор, внесенный в рядки, меньше смешивается с почвой и быстрее проникает в корневую систему и в дальнейшем включается в процессы пита-

тельных веществ семени, способствует усилению роста корневой системы и подземной массы растений, повышению содержания сахаров в растениях, что в дальнейшем определяет устойчивость растений к неблагоприятным условиям зимовки. Рядковое внесение фосфора в дозе 15–20 кг д. в. способствует повышению урожайности зерна на 1,5–2,5 ц/га.

Система удобрения озимой пшеницы, как правило, трехчленная и включает основное, или допосевное, внесение, припосевное и подкормки. Система удобрения озимой пшеницы может быть минеральной и органоминеральной.

Органические удобрения вносятся в дозах 30–40 т/га навоза, торфонавозного компоста перед основной обработкой почвы – вспашкой. Можно использовать и жидкий бесподстилочный навоз в дозах 40–50 т/га.

Калийные и фосфорные удобрения вносятся вразброс перед вспашкой или предпосевной обработкой почвы.

Дозы минеральных удобрений зависят от величины планируемого урожая, содержания в почве гумуса, подвижных форм фосфора и калия, типа и гранулометрического состава почвы, количества вносимых органических удобрений и предшественника.

Определяют дозы удобрений на ЭВМ или используются рекомендации научных учреждений.

Озимая пшеница максимальное количество питательных веществ потребляет в фазе выхода в трубку, а заканчивается их поступление в растения, как правило, к фазе цветения. За этот период растения усваивают 78–92 % азота, 75–88 % фосфора и 85–88 % калия.

Средние расчетные дозы минеральных удобрений под озимую пшеницу приведены в табл. 8.1–8.3.

При наличии комбинированных сеялок при посеве вносят фосфор в дозе 15–20 кг/га д. в. Внесение фосфора в рядки усиливает питание в начальный период, способствует лучшему укоренению озимых зерновых. Для рядкового внесения используются аммонизированный суперфосфат, аммофос и другие формы удобрений.

Подкормки фосфорными и калийными удобрениями нецелесообразны из-за низкой их эффективности.

Таблица 8.1. **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. Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг					Калийные удобрения, кг/га д. в. Содержание K_2O в почве, мг/кг				
				<100	101–150	151–200	201–300	301–400	<80	81–140	141–200	201–300	301–400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
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
Яровые зерновые (зерно)	2,0–3,0	После-действие	50–60	50–65	40–55	30–40	20–30	–	60–80	50–70	40–50	30–40	–
	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	После-действие	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	После-действие	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
Зернобобовые (зерно)	1,5–2,0	–	–	50–70	40–60	30–45	20–30	–	80–100	70–90	60–70	40–60	–

Продолжение табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	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
Сахарная свекла (корни)	20,0–30,0	60	60–90	70–90	60–80	50–60	30–40	–	80–100	70–90	50–70	40–60	–
	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
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

Продолжение табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Яровой рапс (семена)	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
	3,6–4,0	–	130–150	»	»	80–95	60–70	30–35	»	»	100–110	70–75	35–40
Кукуруза (силос)	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
	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
Кормовая свекла (корни)	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
	50,1–70,1	80	100–140	То же	То же	70–100	50–70	20–30	То же	То же	110–160	60–80	30–40
	70,1–90,0	80	140–180	»	»	То же	70–80	30–40	»	»	То же	80–110	40–60
Однолетние бобовые травы (зеленая масса)	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
	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
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	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
	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
Однолетние бобово-злаковые 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 крестоцветные (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

Окончание табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Многолетние бобовые травы (сено)	3,0–4,0	–	–	50–70	45–60	40–50	30–40	–	100–120	90–110	80–100	50–70	–
	4,1–6,0	–	–	70–100	60–80	50–70	40–50	–	120–150	110–140	100–120	70–100	30–40
	6,1–8,0	–	–	То же	То же	70–90	50–60	20–30	То же	То же	120–140	100–120	40–50
	8,1–10,0	–	–	»	»	То же	60–70	30–40	»	»	То же	120–140	50–60
Многолетние злаковые 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	–	110–130	То же	То же	70–90	50–60	20–30	То же	То же	120–140	100–120	40–50
	8,1–10,0	–	130–150	»	»	То же	60–70	30–40	»	»	То же	120–140	50–60
Многолетние бобово-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
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
	10,1–12,0	–	160–180	»	»	То же	55–70	30–40	»	»	То же	115–140	50–60
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 8.2. **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.			
				Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг				Содержание K_2O в почве, мг/кг			
				<100	101–150	151–200	201–300	<80	81–140	141–200	201–300
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Озимые зерновые (зерно)	1,5–2,0	30	35–45	40–50	35–40	25–30	15–20	60–70	40–50	30–40	20–25
	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

Продолжение табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3,6–4,0	30	75–90	То же	То же	45–50	35–40	То же	То же	70–75	50–60
Яровые зерновые (зерно)	1,5–2,0	Последействие 50-60	40–45	40–45	35–40	25–30	15–20	60–70	40–50	30–40	20–30
	2,1–2,5		45–55	45–50	40–45	30–35	15–20	70–80	50–60	40–50	30–40
	2,6–3,0		55–65	То же	45–50	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
	2,6–3,0	–	–	»	То же	45–55	30–35	»	То же	100–120	75–90
Гречиха (зерно)	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
	1,6–2,0	–	70–90	То же	То же	40–55	30–35	»	»	70–90	45–60
Картофель (клубни)	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
	25,1–30,0	60	90–100	То же	55–65	45–50	35–40	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
Кормовая свекла (корни)	20,0–30,0	80	45–65	45–65	25–40	20–30	15–20	70–110	50–80	35–65	25–40
	30,1–45,0	80	65–95	То же	40–60	30–45	20–30	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
Озимый рапс (семена)	1,0–1,5	–	45–65	45–60	35–50	25–35	20–25	65–80	45–60	35–50	20–30
	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
Яровой рапс (семена)	1,0–1,5	–	45–60	45–55	30–40	20–30	15–20	65–85	45–65	35–55	20–30
	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
Кукуруза (силос)	15,0–20,0	80	45–60	45–55	30–40	20–25	15–20	50–60	40–55	30–40	20–25
	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	То же	85–100	60–70	35–40
	35,1–40,0	80	105–120	»	То же	50–60	25–30	»	То же	70–80	40–50
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
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	10,0–15,0	–	40–45	30–40	25–35	20–25	15–20	80–95	65–80	45–55	35–45
	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
Однолетние бобово-злаковые травы (зеленая масса)	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
	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
Однолетние крестоцветные (зеленая масса)	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
	25,1–30,0	–	75–85	»	То же	40–45	25–30	»	То же	85–100	65–75
Многолетние бобовые травы (сено)	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

Окончание табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	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
Сенокосы (сено)	2,0–3,0	–	45–60	30–40	25–35	20–25	15–20	80–100	70–90	55–70	35–50
	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
Пастбища (зеленая масса)	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
	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 8.3. **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. Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг					Калийные удобрения, кг/га д. в. Содержание K_2O в почве, мг/кг				
				<200	201–400	401–600	601–800	801–1000	<200	201–400	401–600	601–1000	801–1300
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	То же	80–90	60–70	30–40	То же	То же	95–110	75–90	50–60
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
	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
Кормовая свекла (корни)	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
	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
Однолетние злаковые травы (зеленая масса)	15,0–20,0	–	30–35	50–65	35–45	30–40	25–30	15–20	100–130	90–110	75–100	55–70	30–35
	20,1–30,0	–	35–40	То же	45–60	40–55	30–40	20–30	То же	110–140	100–130	70–90	35–45

Окончание табл. 8.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	30,1–40,0	–	40–45	То же	То же	55–70	40–50	30–35	То же	То же	130–135	90–110	45–60
	40,1–50,0	–	45–50	»	»	То же	50–60	35–40	»	»	То же	110–130	60–70
Однолетние бобово-злаковые травы (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
	40,1–50,0	–	30–35	»	»	То же	50–60	35–40	»	»	То же	105–120	50–60
Однолетние 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
	40,1–50,0	–	40–45	»	»	То же	50–60	35–40	»	»	То же	105–120	50–60
Многолетние бобовые травы (сено)	3,0–4,0	–	–	55–70	50–65	40–50	25–35	10–15	110–130	100–120	90–110	55–75	30–40
	4,1–6,0	–	–	70–90	65–85	50–70	35–50	15–25	130–150	120–150	110–135	75–100	40–55
	6,1–8,0	–	–	То же	То же	70–85	50–60	25–30	То же	То же	135–160	100–125	55–70
	8,1–10,0	–	–	»	»	85–100	60–70	30–35	»	»	160–180	125–150	70–80
Многолетние злаковые травы (сено)	3,0–4,0	–	30–40	55–70	50–65	40–50	25–35	10–15	110–130	100–120	90–110	55–75	30–40
	4,1–6,0	–	40–50	70–90	65–85	50–70	35–50	15–25	130–165	120–150	110–135	75–100	40–55
	6,1–8,0	–	50–60	То же	То же	70–85	50–60	25–30	То же	То же	135–160	100–125	55–70
	8,1–10,0	–	60–70	»	»	85–100	60–70	30–35	»	»	160–180	125–150	70–80
Многолетние бобово-злаковые травы (сено)	3,0–4,0	–	20–25	55–70	50–65	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	То же	135–160	100–125	55–70

	8,1–10,0	–	35–40	То же	То же	85–100	60–70	30–35	То же	То же	160–180	125–150	70–80
Сенокосы (сено)	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
	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	То же	140–165	105–130	55–65
	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
	40,1–50,0	–	50–60	То же	То же	65–80	45–55	25–30	То же	То же	140–165	105–130	55–65
	50,1–60,0	–	60–70	»	»	80–90	55–60	30–35	»	»	165–190	130–150	65–80

Лучшей формой минеральных удобрений под озимые зерновые культуры с осени является сложносмешанное комплексное удобрение марки NPK 5:16:35, выпускаемое Гомельским химическим заводом. При отсутствии комплексных удобрений в качестве фосфорных удобрений используют аммофос, аммонизированный суперфосфат, калийных – хлористый калий.

Формирование высоких урожаев зерна в большой степени определяется системой применения азотных удобрений.

Для получения урожайности озимых зерновых 40–50 ц/га азотные удобрения вносят в три-четыре срока: до посева (при необходимости), в начале возобновления весенней вегетации (ВВВ), в стадию выхода в трубку (стадия первого узла, 31-я стадия), а на пшенице – и в начале стадии колошения (51–52-я стадии). При формировании высокопродуктивных посевов (урожайность зерна 60 ц/га и выше) необходима большая доза азота. Поэтому в стадию флагового листа (37-я стадия) на посевах озимой пшеницы проводят еще одну подкормку.

До посева азотные удобрения рекомендуется вносить в следующих случаях:

- при размещении озимых зерновых после небобовых предшественников;
- на почвах с низким содержанием гумуса (на суглинистых – менее 2 %, супесчаных – менее 1,8 %);
- если органические удобрения не вносились ни под предшественник, ни под саму культуру.

В остальных случаях до посева вносят 20–40 кг/га азота. Формы удобрений: КАС, мочевина, аммонийная селитра, сульфат аммония. Следует учитывать, что в настоящее время в качестве фосфорсодержащих удобрений в основном используются аммофос и аммонизированный суперфосфат. Наряду с фосфором вносится и небольшое количество азота.

Первую подкормку азотными удобрениями проводят весной в начале возобновления активной вегетации растений, когда среднесуточная температура воздуха превысит +5 ^{o}C и появятся молодые корешки. Цель первой ранневесенней подкормки азотом заключается в том, чтобы усилить мощность кущения растений. Провести ее надо в максимально сжатые сроки (не более чем за 10 дней), так как при поздних сроках подкормки на боковых побегах сформируется укороченный колос, который не даст полноценного зерна или не успеет созреть к началу уборки. Рекомендуемая доза азота для первой ранневесенней подкормки озимых зерновых составляет 60–70 кг/га, лучшей формой

азотных удобрений является КАС (без разбавления), которая позволяет внести азот по поверхности поля с максимальной равномерностью. Карбамид следует применять по влажной почве. *Вторая подкормка* проводится в стадии первого узла (над поверхностью почвы начинает прощупываться первый узел, 31-я стадия). В эту стадию закладывается основной потенциал урожайности озимых зерновых культур (длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна одного колоса). Рекомендуемая доза азота для второй подкормки 35–40 кг/га. Важным условием формирования высокой урожайности является как можно большая продолжительность работы листового аппарата растений. Чем больше продолжается фотосинтетическая деятельность листьев, тем выше будет окупаемость удобрений и конечный урожай. Поэтому после начала трубкования следует избегать ожогов листового аппарата, осторожно относиться к применению КАС и отдавать предпочтение твердым формам азотных удобрений – аммонийной селитре, мочевине.

Третья подкормка в стадии последнего (флагового) листа планируется для получения урожаев более 60 ц/га. Оптимальная доза азота в этот период составляет 40–50 кг/га. Формы удобрений: аммонийная селитра, мочевина, КАС с разведением водой в соотношении 1:3 или 1:4 (использовать опрыскиватели с волочильными шлангами).

Четвертая подкормка проводится на озимой пшенице в начале колошения для улучшения качества зерна. Рекомендуемая доза азота 10 кг/га. В эту подкормку лучше всего использовать 8%-ный раствор мочевины.

Получение высоких уровней урожайности озимых зерновых на фоне высоких доз азотных удобрений возможно при внесении ретардантов и должно сопровождаться активной химической защитой растений.

Из микроэлементов наибольшее значение для озимых зерновых культур имеют медь и марганец. Применение марганца оправданно, если значение обменной кислотности pH_{KCl} больше 6,0. Технологическая схема для получения высоких урожаев озимой пшеницы, разработанная в РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», приведена в табл. 8.4.

Некорневые подкормки медью и марганцем проводятся в фазе конец кущения или в стадии первого узла в дозе по 50 г/га д. в. При планировании высоких урожаев озимой пшеницы более 50 ц/га проводится вторая подкормка этими микроэлементами в той же дозе в фазе флагового листа.

Таблица 8.4. **Технологическая схема применения минеральных удобрений под озимую пшеницу (урожайность 70–100 ц/га)**

Дозы удобрений и регуляторов роста	Формы удобрений	Сроки применения
Органические удобрения 40–50 т/га	Соломистый или торфяной навоз	Осенью под вспашку
$N_{14–20}P_{60–90}K_{120–140}$	Аммофос, хлористый калий	До посева
$N_{60–70}$	КАС или карбамид	Весной в начале вегетации
$N_{35–40}$	Карбамид	В фазе начала выхода в трубку
1,0–1,25 л/га 0,2 л/га 0,5 л/га	Регуляторы роста: хлормекватхлорид 750, или модус, или серон	В стадии первого узла, расход рабочего раствора – 200 л/га
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец, или МикроСтим медь и МикроСтим марганец	Некорневые подкормки в стадии первого узла с добавлением мочевины – 10–15 кг на 200 л рабочего раствора*
$N_{40–50}$	КАС (внесение опрыскивателем с волочильными шлангами) или мочевина	В фазе появления флагового листа
0,2 л/га 0,5 л/га	Регуляторы роста: модус или серон	Появление – полное развитие флагового листа
N_{10}	Водный раствор карбамида в концентрации 10 %	Колошение

*Возможно применение в баковой смеси с ретардантом и фунгицидом.

Наряду с простыми микроудобрениями сульфатом медью и сульфатом марганца эффективно использование микроэлементов в форме хелатных соединений (Адоб медь, Адоб марганец, Эколист моно медь, Эколист моно марганец, МикроСтим медь, МикроСтим марганец и другие формы).

8.1.2. Озимая рожь

Среди злаковых хлебов озимая рожь является менее требовательной культурой к климатическим условиям. Рожь – культура малотребовательная к почвам. Она может расти и на низинных торфяно-болотных почвах, суглинистых, супесчаных, песчаных, и на тяжелых глинистых. Оптимальная реакция почвенной среды для нее pH_{KCl} 5,5–6,0. Озимая рожь отличается более мощной развитой корневой систе-

мой и повышенной способностью усваивать элементы питания, чем озимая пшеница.

Вынос элементов питания озимой рожью на 1 т основной и соответствующее количество побочной продукции в среднем составляет 26 кг N, 11 кг P_2O_5 и 23 кг K_2O. К концу фазы кущения растения озимой ржи потребляют примерно третью часть азота, четвертую часть фосфора и калия от общего потребления. Усвоение растениями озимой ржи азота и калия заканчивается в фазе цветения, а потребление фосфора продолжается до восковой спелости. Максимум потребления элементов питания (до 70 %) падает на фазу кущения и выхода в трубку. В этот период происходит не только интенсивный рост вегетативной массы, но также формирование колоса со всеми органами. Поэтому озимая рожь осенью и ранней весной должна быть обеспечена всеми элементами питания.

Внесение фосфорных и калийных удобрений приводит к повышению морозостойкости растений. При резком недостатке фосфора в почве рост ржи резко ухудшается. Рожь потребляет фосфор равномерно на протяжении вегетации.

Озимая рожь является культурой среднереагирующей на внесение калийных удобрений. При обеспечении потребности ржи в калии развиваются более сильные растения, имеющие прочные, менее склонные к полеганию стебли. Недостаток калия с осени приводит к ослаблению кущения растений. Растения при этом в большей степени поражаются грибными болезнями. Особенно большое значение имеет применение калия на песчаных и торфяных почвах.

Эта культура потребляет сравнительно большое количество азота с самого начала роста и развития. Однако наиболее высокая потребность в азоте отмечается рано весной, так как в это время минеральных соединений азота в почве мало в связи со слабой мобилизацией азота из-за низких температур. Таким образом, несколько повышенное фосфорно-калийное и умеренное азотное питание растений озимой ржи с осени является важным условием получения высоких урожаев.

Система удобрения озимой ржи трехчленная и включает основное, припосевное внесение и подкормки. Органические удобрения в дозе 30–40 т/га, фосфорные и калийные вносятся под озимую рожь до сева под основную обработку почвы. Дозы минеральных удобрений для озимой ржи приведены в табл. 8.1–8.3. При наличии комбинированных сеялок в рядки при посеве вносится 15–20 кг P_2O_5 в форме аммофоса, аммонизированного суперфосфата и других водорастворимых фосфорных удобрений.

Для озимой ржи достаточно провести две подкормки азотными удобрениями. Первая – в дозе 60–70 кг/га д. в. с возобновлением вегетации и вторая – в фазе начала выхода в трубку в дозе 25–30 кг/га д. в.

Лучшая форма азотных удобрений для первой подкормки – КАС.

Для формирования урожайности зерна более 50 ц/га и выше требуется оптимизация всех факторов минерального питания, в том числе повышенные дозы азотных удобрений и применение микроэлементов. Особенно важны для озимой ржи такие микроэлементы, как медь и марганец.

Оптимальный срок применения некорневой подкормки микроэлементами – в стадию первого узла. Для озимой ржи достаточно провести одну подкормку медью и марганцем в дозе по 50 г/га д. в. Марганцевые удобрения эффективны на почвах с pH_{KCl} выше 6,0.

Наряду с простыми микроудобрениями (сернокислая медь, сульфат марганца) эффективно использование жидких микроудобрений – Адоб и Эколист, которые содержат медь и марганец в форме хелатных соединений и более технологичны в применении. Использование их обусловливается в первую очередь финансовыми возможностями хозяйств, поскольку все они, как правило, дороже простых микроудобрений.

Некорневые подкормки озимых зерновых культур микроэлементами являются энергосберегающим приемом, так как технологически могут совмещаться с применением фунгицидов, регуляторов роста и подкормкой азотом, при этом сульфаты меди и марганца растворяются в отдельной емкости. Приготовление растворов баковых смесей рекомендуется проводить непосредственно перед их применением.

Технологическая схема применения удобрений в течение вегетационного периода для озимой ржи, разработанная РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», приведена в табл. 8.5.

Таблица 8.5. **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 мочевина	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

Применение твердых форм азотных удобрений (карбамид, аммиачная селитра) следует осуществлять только при наличии в хозяйствах штанговых машин РШУ-12, СУ-12, МТТ-4У, или центробежных машин Альфа, RAUCH (Германия), или РДУ-1,5. Машины НРУ-0,5, РМГ-4, РУМ-5, РУМ-8 обеспечивают минимально возможную степень неравномерности – 20 %, а в условиях производства – 40–50 %. По данным Института почвоведения и агрохимии, недобор урожая зерна в этом случае от неравномерного внесения азота составляет от 2,5 до 4,0–5,0 ц/га. Достичь высокой равномерности позволяет применение жидкого азотного удобрения КАС опрыскивателями ОТМ-2-3,ОП-2000, S-320 и др. Исследования, проведенные с различными формами азотных удобрений (КАС, аммонийная селитра, карбамид, сульфат аммония), показали, что по влиянию на урожайность озимых зерновых культур все они практически равноценны. При поверхностном внесении мочевины без заделки в почву могут происходить газообразные потери азота до 20–25 % от внесенной дозы. Эти потери могут быть снижены до 12–15 %, если вносить карбамид по влажной почве. Рекомендуется также использовать для подкормок медленнодействующую форму мочевины с гуминовыми добавками.

8.1.3. Озимая тритикале

Озимая тритикале – зерновая культура, в которой удачно сочетается высокая экологическая пластичность озимой ржи с урожайностью и качеством пшеницы. Озимая тритикале способна давать более высокие урожаи по сравнению с пшеницей на бедных почвах и в связи с этим в Беларуси пригодных почв для ее выращивания больше, чем для озимой пшеницы. Наиболее высокую урожайность озимая тритикале формирует на связных почвах со слабокислой или нейтральной реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 5,5–7,0). Отдельные сорта этой культуры отличаются повышенными требованиями к плодородию почвы. Их следует возделывать на хорошо окультуренных почвах.

Самыми ответственными периодами в питании озимой тритикале являются период от всходов до ухода посевов в зиму и весной в начале возобновления вегетации.

В первый период озимая тритикале предъявляет повышенные требования к фосфорно-калийному питанию, которое способствует мощному развитию корневой системы и кущению, накоплению сахаров, что важно для хорошей перезимовки. В этот период растения должны быть умеренно обеспечены азотом, так как повышенное азотное пита-

ние понижает устойчивость растений к перезимовке. Успешной перезимовке способствует внесение органических удобрений.

При отрастании рано весной озимая тритикале нуждается в усиленном азотном питании, так как в это время запасы минерального азота в почве еще невелики.

Озимая тритикале максимальное количество питательных веществ потребляют в фазе выхода в трубку, а заканчивается их поступление в растения, как правило, к фазе цветения. За этот период растения усваивают 78–92 % азота, 75–88 % фосфора и 85–88 % калия.

Одной тонной основной продукции с учетом побочной озимая тритикале в среднем выносит 26 кг N, 11 кг P_2O_5 и 22 кг K_2O.

Для озимой тритикале, как правило, система удобрения трехчленная, включающая основное, припосевное удобрение и подкормки. Она может быть минеральной или органоминеральной. Последняя предполагает внесение подстилочного навоза в дозе 20–40 т/га, бесподстилочного – 40–50 т/га. Органические удобрения вносятся под вспашку.

Дозы минеральных удобрений рассчитываются комплексным методом с использованием ЭВМ или определяются по рекомендациям научных учреждений. Средние расчетные дозы минеральных удобрений под озимую тритикале приведены в табл. 8.1–8.3.

На низкоокультуренных почвах с невысокими запасами подвижных форм фосфора и калия высокая урожайность озимой тритикале не планируется.

Фосфорные и калийные удобрения под озимую тритикале вносят до сева под основную обработку почвы. Под озимую тритикале допускается основное внесение азота только на почвах, слабоокультуренных, с содержанием гумуса менее 1,8 % в дозе 20–30 кг при размещении после злаковых и крестоцветных предшественников.

Лучшей формой минеральных удобрений под озимые зерновые культуры с осени является сложносмешанное комплексное удобрение марки NPK 5:16:35, выпускаемое Гомельским химическим заводом. При отсутствии комплексных удобрений в качестве фосфорных удобрений используют аммофос, аммонизированный суперфосфат, калийных – хлористый калий.

Формирование высоких урожаев зерна в большой степени определяется системой применения азотных удобрений.

Для получения урожайности озимой тритикале 40–50 ц/га азотные удобрения вносят в три срока: до посева (при необходимости), в начале возобновления весенней вегетации, в стадии выхода в трубку (стадия 1-го узла, 31-я стадия). При формировании высокопродуктивных посевов (урожайность зерна 60 ц/га и выше) необходима большая

доза азота. Поэтому в стадии флагового листа (37-я стадия) на посевах озимой тритикале проводят еще одну подкормку.

Первую подкормку азотными удобрениями весной проводят в начале возобновления активной вегетации растений при достижении устойчивой среднесуточной температуры на уровне 5 ^{o}C и выше и появлении на растениях отрастающих белых корешков. Провести ее надо в максимально сжатые сроки (не более чем за 10–12 дней), так как при поздних сроках подкормки на боковых побегах сформируется укороченный колос, который не даст полноценного зерна или не успеет созреть к началу уборки. Следует иметь в виду, что при избыточном азотном питании растения усиленно кустятся весной, чрезмерно увеличивается вегетативная масса в ущерб формированию репродуктивных органов. Такие растения предрасположены к полеганию и поражению болезнями. Рекомендуемая доза азота для первой ранневесенней подкормки озимой тритикале составляет 60–70 кг/га, лучшей формой азотных удобрений является КАС (без разбавления), которая позволяет внести азот по поверхности поля с максимальной равномерностью.

Таблица 8.6. **Технологическая схема применения минеральных удобрений под озимую тритикале (урожайность 70–100 ц/га)**

Дозы удобрений и регуляторов роста	Формы удобрений	Сроки применения
Органические удобрения 40–50 т/га	Соломистый или торфяной навоз	Осенью под вспашку
$N_{14–20}P_{60–90}K_{12–140}$	Аммофос, хлористый калий	До посева
$N_{60–70}$	КАС или карбамид	Весной в начале вегетации
$N_{35–40}$	Карбамид	В фазе начала выхода в трубку
1,0–1,25 л/га 0,2 л/га 0,5 л/га	Регуляторы роста: хлормекватхлорид 750, или модус, или серон	В стадии первого узла, расход рабочего раствора – 200 л/га
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец, или МикроСтим медь и МикроСтим марганец	Некорневые подкормки в стадии первого узла с добавлением мочевины – 10–15 кг на 200 л рабочего раствора*
$N_{40–50}$	КАС (внесение опрыскивателем с волочильными шлангами) или карбамид	В фазе появления флагового листа
0,2 л/га 0,5 л/га	Регуляторы роста: моддус или серон	Появление – полное развитие флагового листа

*Возможно применение в баковой смеси с ретардантом и фунгицидом.

Вторая подкормка проводится в стадии первого узла (над поверхностью почвы начинает прощупываться первый узел, 31-я стадия). В эту стадию закладывается основной потенциал урожайности озимых зерновых культур (длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна одного колоса). Рекомендуемая доза азота для второй подкормки 35–40 кг/га. После начала трубкования следует избегать ожогов листового аппарата, осторожно относиться к применению КАС и отдавать предпочтение твердым формам азотных удобрений – аммонийной селитре, карбамиду.

Третья подкормка в стадии последнего (флагового) листа планируется для получения урожаев более 60 ц/га. Оптимальная доза азота в этот период составляет 40–50 кг/га. Формы удобрений: аммонийная селитра, мочевина, КАС с разведением водой в соотношении 1:3 или 1:4 (использовать опрыскиватели с волочильными шлангами).

Получение высоких уровней урожайности озимой тритикале на фоне высоких доз азотных удобрений возможно при внесении ретардантов и должно сопровождаться активной химической защитой растений.

Из микроэлементов наибольшее значение для озимой тритикале имеют медь и марганец. Применение марганца оправдано, если значение обменной кислотности (pH_{KCl}) больше 6,0. Для средних уровней урожайности необходимо планировать проведение одной некорневой подкормки в стадии первого узла. Для высокопродуктивных посевов (50 ц/га и выше) рекомендуется двукратная некорневая подкормка микроэлементами в начале активной вегетации весной или в стадии первого узла и в стадии флагового листа. Наряду с простыми микроудобрениями сульфатом медью и сульфатом марганца эффективно использование жидких микроудобрений, содержащих микроэлементы в форме хелатных соединений (Адоб медь, Эколист моно медь, МикроСтим медб, Адоб марганец, Эколист моно марганец и др.).

8.2. Яровые зерновые культуры

8.2.1. Яровая пшеница

Из яровых зерновых культур яровая пшеница наиболее требовательна к плодородию почвы. У яровой пшеницы более короткий вегетационный период и более сжатый период поглощения элементов питания, чем у озимой пшеницы. Количество же элементов питания, вы-

носимое с 1 т основной продукции с учетом побочной, примерно такое же, как и у озимой пшеницы.

Яровая пшеница хорошо удается на почвах с pH_{KCl} 6,0–7,3.

На формирование 1 т зерна яровая пшеница потребляет в среднем 30,4 кг N, 11,6 кг P_2O_5 и 24,7 кг K_2O. У яровой пшеницы по сравнению с озимой менее развита корневая система, она слабо кустиста. Это вызывает необходимость обеспечения полноценного питания на всем протяжении вегетационного периода.

Наибольшую потребность в азоте яровая пшеница испытывает в период от начала кущения до выхода в трубку, за это время она поглощает около 40 % азота от потребляемого за весь вегетационный период. Недостаток азота в этот период приводит к нарушению формирования генеративных органов и снижению урожайности.

Критическим периодом фосфорного питания яровой пшеницы является начальный период роста. Обеспеченность фосфором яровых зерновых в этот период способствует хорошему развитию корневой системы, формированию крупного колоса, более раннему созреванию растений. Фосфорные удобрения дают меньшую прибавку урожая, чем азотные, но без них растения хуже развиваются.

Наибольшее количество калия яровые культуры потребляют в первые периоды роста. Более высокая эффективность калийных удобрений отмечается при низкой обеспеченности почв подвижным калием.

Поглощение питательных элементов у яровых зерновых заканчивается в основном к периоду колошения – цветения.

Яровая пшеница на дерново-подзолистых почвах хорошо использует последействие органических удобрений, внесенных под предшественник.

Дозы минеральных удобрений при возделывании яровых зерновых культур рассчитываются для каждого конкретного поля с учетом типа почвы и ее гранулометрического состава, планируемой урожайности, обеспеченности почвы подвижными соединениями фосфора и калия, предшественника, последействия органических удобрений.

Рекомендуемые дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений под яровую пшеницу в зависимости от типа почвы, уровня планируемой урожайности и содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия приведены в табл. 8.1–8.3.

Система удобрения под яровую пшеницу минеральная, 2–3-членная и включает основное, припосевное внесение и при необходимости подкормку.

Азотные удобрения при возделывании яровой пшеницы на минеральных почвах при планировании высоких урожаев вносят в три приема: $N_{60–70}$ – весной под предпосевную культивацию (основное внесение), $N_{20–40}$ – в стадии первого узла (подкормка) и $N_{15–20}$ – в стадии колошения (некорневая подкормка). При планировании урожаев яровой пшеницы 60 ц/га и более необходимо внесение 30 кг/га азота в стадии флагового листа и ретардантов.

Если расчетные дозы азотных удобрений не превышают 60–70 кг/га, то их эффективнее вносить в один прием под предпосевную культивацию.

Доза для подкормки может корректироваться на основании данных растительной диагностики.

Из азотных удобрений до сева применяются любые формы, лучшей является КАС, которая позволяет внести азот с максимальной равномерностью. В подкормку в стадии первого узла используют медленнодействующую мочевину (с гуматами), КАС с разбавлением водой 1:4. При отсутствии КАС первую азотную подкормку допускается проводить карбамидом с гуматами или аммонийной селитрой.

Для увеличения содержания белка и клейковины поздняя азотная некорневая подкормка в начале колошения яровой пшеницы проводится 10%-ным раствором карбамида. В раствор можно добавить сульфат аммония (5–10 кг/га в физическом весе). Сера, содержащаяся в этом удобрении, способствует увеличению содержания белка в зерне.

Фосфорные и калийные удобрения следует вносить осенью с заделкой под зяблевую вспашку, культивацию или весной под предпосевную культивацию.

Из имеющегося ассортимента минеральных удобрений лучшими формами являются аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий.

Для внесения под предпосевную культивацию рекомендуется сложно-смешанное комплексное удобрение марки 16:12:20, выпускаемое на Гомельском химическом заводе (содержит 16 % азота, 12 % фосфора и 20 % калия).

Для обеспечения яровой пшеницы фосфором в критический период при наличии комбинированных сеялок вносят 10–20 кг/га фосфора в рядки при посеве. Лучшими формами удобрения из производимых в Республике Беларусь являются аммонизированный суперфосфат, аммофос.

Эффективным приемом при возделывании яровых зерновых культур является некорневая подкормка медью, а на почвах с pH более 6,0 – марганцем. Оптимальные сроки проведения некорневой подкормки – стадия первого и второго узла в дозе по 50 г/га д. в. Технологические схемы применения минеральных макро- и микроудобрений в основные периоды роста яровой пшеницы приводятся в табл. 8.7, 8.8.

Таблица 8.7. **Технологическая схема применения минеральных удобрений под яровую пшеницу (урожайность 50–60 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60}P_{60–90}K_{120–150}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе последнего листа
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или ЭлеГум медь и ЭлеГум марганец, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,2–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

Таблица 8.8. **Технологическая схема применения удобрений под яровую пшеницу (урожайность 61–80 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60–90}P_{90–120}K_{150–180}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
Фунгицид	Альто Супер, 0,6 л/га, или другие	В стадии флагового листа
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе последнего листа
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,0–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

Из медных удобрений применяются сернокислая медь и удобрения, содержащие медь в хелатной форме (Адоб медь, Эколист моно медь, МикроСтим медь и др.). Из марганцевых удобрений используются сернокислый марганец, Адоб марганец.

8.2.2. Ячмень

Ячмень отличается повышенными требованиями к уровню питания, что объясняется очень коротким вегетационным периодом (70–110 дней) и чрезвычайно быстрым ходом потребления питательных элементов. Период поглощения питательных веществ у ячменя в основном заканчивается к середине вегетации, примерно за 40 дней до созревания. Ко времени выхода в трубку он потребляет около 70 % калия, 40 % фосфора и более 60 % азота, используемых за весь вегетационный период. По выносу элементов питания ячмень мало отличается от озимых зерновых культур. Для формирования 1 т зерна вместе с соломой ячмень потребляет в среднем 29,1 кг N, 11,9 кг P_2O_5 и 27,4 кг K_2O.

Ячмень лучше удается на окультуренных плодородных почвах с реакцией, близкой к нейтральной (pH_{KCl} 6,0–7,0). Он хорошо использует последействие органических удобрений, внесенных под предшественник. В связи с этим в севооборотах его хорошо размещать после пропашных культур.

При выращивании высокобелкового кормового ячменя необходимо повышенное азотное питание в сочетании с оптимальным фосфорным и калийным удобрением. Расчетные дозы минеральных удобрений под ячмень фуражный приведены в табл. 8.1–8.3.

Основную дозу азотных (60 кг/га д. в.), а также фосфорные и калийные удобрения под ячмень обычно вносят весной под культивацию или прямой посев после разбрасывания удобрений комбинированными почвенно-посевными агрегатами. На связных почвах фосфорные и калийные удобрения могут вноситься под ячмень с осени.

Технологическая схема применения минеральных удобрений под ячмень продовольственный приведена в табл. 8.9–8.10.

Из имеющегося ассортимента минеральных удобрений в республике лучшими формами являются КАС (для основного внесения), карбамид, аммофос, диаммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий.

Таблица 8.9. **Технологическая схема применения минеральных удобрений под ячмень продовольственный (урожайность 50–60 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60}P_{60–90}K_{120–150}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или ЭлеГум медь и ЭлеГум марганец, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,2–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

Таблица 8.10. **Технологическая схема применения удобрений под ячмень продовольственный (урожайность 61–80 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60–90}P_{90–120}K_{150–180}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
Фунгицид	Альто Супер, 0,6 л/га, или другие	В стадии флагового листа
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе последнего листа
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,2–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

В фазе начала выхода в трубку проводится подкормка твердыми азотными удобрениями (карбамид, аммиачная селитра) в дозе 30 кг/га д. в. Необходимо отметить, что подкормки азотными удобрениями могут быть эффективными только при достаточном увлажнении почвы.

При возделывании ячменя рекомендуются подкормки медными и марганцевыми удобрениями в дозе по 50 г/га д. в. в фазе начала вы-

хода в трубку. Марганцевые удобрения эффективны на дерново-подзолистых почвах с pH_{KCl} выше 6,0. Для подкормок микроудобрениями могут быть использованы сернокислая медь и сернокислый марганец или микроудобрения, содержащие эти микроэлементы в хелатных формах: Адоб медь, Адоб марганец, Эколист моно медь, Эколист марганец, МикроСтим медь, МикроСтим марганец и др. При проведении некорневой подкормки на 200 л рабочего раствора надо добавлять 10 кг/га карбамида.

8.2.3. Пивоваренный ячмень

В пивоваренном ячмене высокое содержание белка в зерне – отрицательный момент, так как чем больше белка, тем меньше крахмала, который является основным экстративным веществом. Поэтому система удобрения пивоваренного ячменя должна быть направлена на повышение содержания в зерне не белка, а крахмала и общего выхода экстративных веществ. Хороший пивоваренный ячмень содержит 58–65 % крахмала и выше, а экстративность колеблется в пределах 75–82 % массы сухого вещества. Разница между этими величинами (14–15 %) падает на долю водорастворимых органических соединений, способных при экстрагировании переходить в раствор. Чем выше экстрактивность зерна ячменя, тем больше выход пива. Высокие дозы азота повышают белковость зерна и снижают пивоваренные качества ячменя. В связи с этим рекомендуется разовое внесение под пивоваренный ячмень азотных удобрений (N_{60}), учитывая ограничения по белку (9–12 % при оптимальном содержании 10,5 %).

Оптимальные дозы минеральных удобрений под ячмень пивоваренный приводятся в табл. 8.11.

Дозы азотных удобрений до 60 кг/га и расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений применяются в один прием до посева с заделкой под культивацию. На связных почвах фосфорные и калийные удобрения можно внести с осени. При наличии специально оборудованных сеялок 15–20 кг/га д. в. фосфора целесообразно вносить в рядки при посеве. Лучшая форма удобрений для основного внесения – комплексное удобрение марки 9:18:24 с медью и марганцем или марки 10:18:22 с медью и марганцем.

Таблица 8.11. **Дозы минеральных удобрений* под пивоваренный ячмень на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, мг/кг почвы	Планируемый урожай (зерно), ц/га			
		31–40	41–50	51–60**	61–80**
Азотные	–	50–60	50–60	50–60	70–80
Фосфорные	Менее 100	65–80	×	×	×
	101–150	55–70	×	×	×
	151–200	40–55	55–70	×	×
	201–300	30–40	40–50	50–60	60–70
	301–400	20–30	20–25	25–30	30–35
Калийные	Менее 80	80–110	×	×	×
	81–140	70–90	×	×	×
	141–200	50–70	70–90	×	×
	201–300	40–60	60–80	80–100	100–120
	301–400	30–35	35–40	40–45	45–50

*На фоне последействия 50–60 т/га органических удобрений; **на фоне ретардантов – моддус в дозе 0,3 л/га в фазе начала выхода в трубку (образование второго междоузлия) и 0,3 л/га (в период появления последнего листа).

На хорошо окультуренных почвах на посевах с потенциальной урожайностью 60–80 ц/га проводится одна подкормка азотными удобрениями в дозе до 20 кг/га д. в. в фазе начала выхода в трубку.

Медные и марганцевые микроудобрения вносят в дозах по 50 г/га д. в. в фазе начала выхода в трубку так же, как и для продовольственного ячменя.

8.2.4. Яровая тритикале

Для возделывания яровой тритикале более пригодными являются дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы. Можно эту культуру возделывать и на супесях, подстилаемых моренным суглинком. Оптимальные агрохимические показатели почвы для этой культуры: pH_{KCl} – 5,5–7,0, содержание гумуса – не менее 1,6 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг.

Яровая тритикале на 1 т основной продукции с учетом побочной в среднем выносит 25,3 кг N, 12 кг P_2O_5 и 21,9 кг K_2O. Она по сравнению с другими яровыми зерновыми культурами имеет более длительный вегетационный период и хорошо отзывается на подкормки азотными удобрениями.

От начала выхода в трубку до колошения яровая тритикале потребляет примерно 2/3–3/4 всего количества азота и зольных элементов. В период развития яровой тритикале от появления всходов до конца кущения потребляется меньше элементов минеральной пищи, чем в последующие фазы развития растений. Однако в этот период яровая тритикале весьма чувствительна к недостатку питательных элементов и особенно фосфора.

Дозы минеральных удобрений зависят от типа почвы, гранулометрического состава, обеспеченности почвы подвижными формами фосфора, калия, предшественников (см. табл. 8.1–8.3). Фосфорные и калийные удобрения на связных почвах можно вносить с осени, чаще P_2O_5 – 50–90 кг д. в., K_2O – 60–120 кг д. в. с учетом плодородия почвы. Можно их применять и весной. Наибольшее значение в формировании урожайности яровой тритикале имеют азотные удобрения, которые следует вносить в предпосевную культивацию или прямой посев после разбрасывания удобрений почвенно-посевными агрегатами в дозе $N_{80–90}$. Дробное внесение азота в подкормку в фазе начала выхода в трубку проводится твердыми азотными удобрениями (карбамид, аммонийная селитра, КАС при разбавлении водой 1:4) в дозе 30 кг д. в. При планировании высоких урожаев применяются ретарданты (Терпал Ц и др.). Из имеющегося ассортимента рекомендуется под предпосевную культивацию применять комплексные удобрения марки 16:12:20.

В припосевное внесение при наличии комбинированных сеялок вносят 15–20 кг P_2O_5 фосфорных удобрений в рядки. Лучшими формами являются аммофос и аммонизированный суперфосфат.

Микроэлементы играют важную роль в получении высокой урожайности зерна яровой тритикале хорошего качества. Наиболее чувствительна эта культура к недостатку меди, а также марганца на почвах с pH_{KCl} больше 6,0. Некорневую подкормку медью и марганцем проводят в фазе начала выхода в трубку в дозе по 50 г/га д. в. При запланированной урожайности зерна свыше 50 ц/га целесообразно дополнительно внести микроэлементы в фазе флагового листа.

Применяются микроэлементы прежде всего на почвах с низкой и средней обеспеченностью, на почвах с высоким содержанием микроэлементов, как правило, их не вносят. Наряду с простыми солями (сернокислая медь, сернокислый марганец) эффективным приемом является некорневая подкормка жидкими микроудобрениями, содержащими микроэлементы в хелатной форме (препараты Эколист, Адоб,

МикроСтим и др.). Микроудобрения растворяют в гектарной норме воды (200–300 л/га).

Технологическая схема применения удобрений при возделывании яровой тритикале приведена в табл. 8.12–8.13.

Таблица 8.12. **Технологическая схема применения минеральных удобрений под яровую тритикале (урожайность 50–60 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60}P_{60–90}K_{120–150}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе последнего листа
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или ЭлеГум медь и ЭлеГум марганец, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,2–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

Таблица 8.13. **Технологическая схема применения удобрений под яровую тритикале (урожайность 61–80 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{60–90}P_{90–120}K_{150–180}$	Карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий	До посева
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе первого узла
Фунгицид	Альто Супер, 0,6 л/га, или другие	В стадии флагового листа
N_{30}	Карбамид	Подкормка в фазе последнего листа
$Cu_{50}Mn_{50}$	Сульфат меди и сульфат марганца, или Адоб медь и Адоб марганец	Некорневая подкормка в фазе первого узла с добавлением карбамида (10 кг/га) или КАС (10 л/га), расход рабочего раствора – 200 л/га
Регулятор роста	Терпал Ц – 1,2–1,5 л/га	Опрыскивание посевов в фазе появления флагового листа, расход рабочего раствора – 200 л/га

8.2.5. Овес

По сравнению с другими яровыми зерновыми культурами овес имеет более растянутый период поглощения элементов питания. Он мирится с кислыми почвами, но лучшие урожаи дает на слабокислых и нейтральных. Оптимальная реакция почвенной среды pH_{KCl} 5,0–6,5. Овес обладает высоким потенциалом биологической продуктивности, лучше, чем ячмень и яровая пшеница, усваивает питательные вещества из почвы, хорошо использует последействие ранее вносимых удобрений.

С одинаковым урожаем овес выносит несколько больше фосфора и калия и меньше азота, чем ячмень. На образование 1 т урожая зерна и соответствующего количества побочной продукции он потребляет в среднем 25,9 кг N, 12,4 кг P_2O_5 и 28,6 кг K_2O.

При возделывании овса на дерново-подзолистых почвах, особенно легких, обнаруживается сильное действие азотных удобрений. Достаточное обеспечение овса фосфором способствует хорошему росту корневой системы, формированию качественного зерна, более раннему созреванию растений. Наибольшее количество калия растения поглощают в первые периоды роста. Калий регулирует водный обмен, повышает засухоустойчивость, сопротивляемость к болезням и вредителям, устойчивость к полеганию, ускоряет созревание зерна.

Овес является менее требовательной культурой к плодородию почвы и предшественнику, поэтому в севообороте его обычно размещают в последнем поле.

Система удобрения овса трехчленная и включает внесение удобрений до посева, при посеве и в подкормку.

Фосфорные и калийные удобрения следует вносить осенью под зяблевую вспашку, культивацию или весной – под предпосевную культивацию.

Из имеющегося ассортимента минеральных удобрений лучшими формами являются аммофос, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий.

Дозы удобрений дифференцируются в зависимости от уровня планируемой урожайности, предшественника, типа гранулометрического состава, обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия (см. табл. 8.1–8.3).

Поскольку овес является ценной фуражной и продовольственной культурой, важное значение имеет качество зерна, особенно количе-

ство и состав белков. Белки овса имеют высокую биологическую ценность (60–70 %). Для повышения содержания белка азотные удобрения под эту культуру рекомендуется применять дробно.

Из азотных удобрений до посева применяются любые формы, лучшей является КАС, которая позволяет внести азот равномерно. Если расчетные дозы азота не превышают 60 кг/га д. в., то их эффективнее вносить в один прием под предпосевную культивацию. При наличии комбинированных сеялок в рядки при посеве вносится 15–20 кг P_2O_5 в форме аммофоса, аммонизированного суперфосфата или другого водорастворимого фосфорного удобрения. Дозы азотных удобрений более 60 кг/га вносятся дробно: до посева и часть азота в подкормку в фазу конец кущения – начало выхода в трубку. В подкормку используют карбамид, КАС с разбавлением водой 1:4. Можно использовать также карбамид с гуматами и аммонийную селитру. Подкормки азотными удобрениями могут быть эффективными лишь при достаточном увлажнении почвы.

Овес хорошо отзывается на применение медных микроудобрений, а на почвах с pH_{KCl} более 6,0 и марганцевых. Эти микроудобрения в некорневую подкормку вносятся в дозе по 50 г/га д. в. в фазе начала выхода в трубку. Для подкормки могут быть использованы сернокислая медь и сернокислый марганец или микроудобрение, содержащее эти микроэлементы в хелатной форме: Адоб медь, Адоб марганец, Эколист моно медь, Эколист моно марганец, МикроСтим медь, МикроСтим марганец и др. При проведении некорневой подкормки микроудобрениями на 200 л рабочего раствора рекомендуется добавлять 10 кг/га карбамида.

8.3. 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 пожнивно-корневых остатков зернобобовых культур способствует улучшению азотного питания последующих культур. Благодаря симбиотической деятельности с пожнивными 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, оструктуривание 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: pH – 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 pH_{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.

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.

Применение азота экономически выгодно заменить инокуляцией семян зернобобовых бактериальным удобрением Сапронит. Предпосевная обработка 1 т семян проводится рабочей смесью: 1 л Сапронита + 10 л воды (непосредственно перед посевом). Инокуляция семян

проводится на машинах для протравливания в крытых помещениях. Хранить обработанные семена не рекомендуется.

Дозы внесения фосфорных и калийных удобрений зависят от планируемой урожайности и содержания доступных форм этих веществ в почве (см. табл. 8.1–8.2). 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.

8.3.1. Люпин

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, принимающем 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).

Люпин является типичным хлорофобом. 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 нуждаются 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 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. 8.1–8.3).

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 произвесткованных участках дозы внесения калия необходимо увеличить на 20–30 % по сравнению с расчетными на планируемый урожай. Чтобы избежать отрицательного действия известкования почвы на урожайность лю-

пина, 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 молибдатом аммония (250 г/т). Можно проводить некорневые подкормки также микроудобрениями Эколист моно бор и Адоб бор в дозе 0,3 л/га в баковой смеси с инсектицидами. Для улучшения азотфиксации проводится предпосевная обработка 1 т семян люпина рабочей смесью: 1 л Сапронита + 10 л воды (непосредственно перед посевом).

8.3.2. Соя

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. Содержание 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.

8.3.3. Горох

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 реагируют на известкование. Оптимальное значение pH_{KCl} для него 6–7. Он хорошо реагируют 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 последействие органических удобрений. Биологические особенности зернобобовых культур определяют потребность их в минеральных удобрениях. Расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений под горох приведены в табл. 8.1–8.3. 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 Сапронитом из расчета 200 л на гектарную порцию семян.

8.4. 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 последействие 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. 8.14–8.16). Хорошие результаты обеспечивает 15–30 кг/га д. в. фосфора в рядки при посеве (просо одна из наиболее отзывчивых на этот агроприем культура).

Таблица 8.14. **Средние дозы минеральных удобрений под просо на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых мореной**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, 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

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.

По данным научных исследований под просо целесообразно использовать комплексное NPK-удобрение 16:12:20 с регулятором роста растений феномелан (375–500 кг АФК соответствует $N_{60–85}P_{45–65}K_{75–110}$) или карбамида с гидрогуматом, применение которых обеспечивает прибавку урожайности зерна от 1,6 до 3,8 ц/га по сравнению со смесью простых удобрений.

Таблица 8.15. **Средние дозы минеральных удобрений под просо на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных на песках почвах**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га				
		15–20	21–25	25–30	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 8.16. **Средние дозы минеральных удобрений под просо на торфяно-болотных почвах**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, 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

Примечание. × – при данной обеспеченности фосфором и калием получение планируемой урожайности нерентабельно.

Институтом почвоведения и агрохимии разработана технологическая схема применения удобрений для проса (табл. 8.17).

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.

Таблица 8.17. **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
Кинто Дуо Иншур Перформ	2 л/т 0,4–0,5 л/т	Протравливание семян до посева
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 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 Сульфат марганца, Адоб марганец	$Cu_{25}Mn_{25}$	Некорневая подкормка в фазе кущения, 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

Внесение микроэлементов может проводиться в виде некорневой подкормки в фазе кущения медью и на произвесткованных почвах марганцем в дозах 25 г/га (сульфат меди и сульфат марганца, Адоб медь, Адоб марганец, Эколист моно медь, Эколист моно марганец и др.).

8.5. Гречиха

В последние годы гречиха в Беларуси возделывается на площади около 20 тыс. га.

Особенности питания. Гречиха предпочитает хорошо аэрируемые, быстропрогреваемые, чистые от сорняков дерново-подзолистые супесчаные, а также легко- и среднесуглинистые почвы. Она плохо растет на тяжелых, переувлажненных почвах и песках. Гречиха требовательна не только к почве, но и к месту произрастания. В низких мес-

тах, где растения могут страдать от избытка влаги, повреждаться заморозками, туманами, зарастать сорняками, гречиху высевать нельзя. Малопригодны для нее и возвышенные места. Ее рекомендуется размещать на участках, защищенных от холодных ветров. Гречиха менее, чем зерновые колосовые, чувствительна к кислотности почвы. Оптимальная величина pH_{KCl} лежит в пределах 5,2–6,0.

Несмотря на способность хорошо усваивать из почвы труднодоступные формы фосфора и калия, гречиха, имея слаборазвитую корневую систему, хорошо отзывается на удобрения.

По сравнению с зерновыми хлебами гречиха очень интенсивная культура. Эта крупяная культура потребляет азота в 1,5 раза (37,5 кг/т), фосфора – в 2 (19,8 кг/т), калия – в 2 (48,2 кг/т) раза больше, чем зерновые культуры.

У гречихи короткий период потребления питательных веществ, за 30–40 дней (до цветения) после посева гречиха использует более 60 % азота и калия и до 50 % фосфора от использованного количества. Это калиелюбивая культура. Фосфор используется в большей мере во второй половине вегетации. Как и другие культуры, в начале роста и гречиха испытывает потребность в фосфоре. К азоту гречиха менее требовательна, чем к фосфору и калию. Избыток азота задерживает созревание и резко снижает плодообразование. Гречиха – ярко выраженный хлорофоб.

Система удобрения гречихи минеральная, включающая основное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений, припосевное – фосфорных и в подкормку – микроудобрений (борных, марганцевых и цинковых). Оптимальные дозы минеральных удобрений под гречиху представлены в табл. 8.1–8.2.

Дозы азотных удобрений под средне- и позднеспелые сорта, возделываемые после зерновых предшественников, не должны превышать 70 кг/га, после пропашных – 30–45 кг/га. Для скороспелых сортов дозы азота можно увеличить на 15–20 кг/га. Лучшим азотным удобрением является сульфат аммония, так как гречиха предъявляет повышенные требования к питанию серой. Азотные удобрения в основной прием вносятся под предпосевную обработку почвы.

Фосфорные удобрения рекомендуется вносить осенью под вспашку или весной под предпосевную культивацию. Эффективным приемом использования фосфорных удобрений является внесение их в рядки при посеве в дозе 15–20 кг/га д. в.

Так как гречиха относится к хлорофобным культурам, отрицательно реагирующим на хлор, при высоких дозах внесения хлорсодер-

жащих калийных удобрений у гречихи может наблюдаться пятнистость листьев и снижение урожайности зерна.

В республике под гречиху в основном вносятся хлорсодержащие калийные удобрения (хлористый калий), так как выпуск бесхлорных калийных удобрений (сульфата калия) не производится.

Внесение хлорсодержащих калийных удобрений является одним из основных факторов, лимитирующих получение высоких урожаев гречихи. Поэтому хлористый калий под гречиху на дерново-подзолистых легкосуглинистых и связносупесчаных почвах, подстилаемых моренными суглинками, следует вносить с осени. За осенний и весенний период хлор из удобрений практически полностью вымывается.

На легких почвах хлористый калий не рекомендуется вносить с осени, так как потери калия из удобрений составляют 25–33 кг/га. Поэтому на песчаных и рыхлосупесчаных почвах хлористый калий под гречиху вносится весной под ранневесеннюю культивацию.

Для основного внесения можно использовать комплексные хлорсодержащие удобрения для гречихи, производимые Гомельским заводом:

- для почв со средним и повышенным содержанием подвижного фосфора и калия в почвах марки N:P:K 16:12:20; 15:11:19; 14:10:17. Они содержат 14–16 % N, 10–12 % P_2O_5, 17–20 % K_2O, до 4 % MgO, 0,17–0,18 % B, до 0,2 % Zn, до 0,2 % Cu, 0,02 % Fe и регуляторы роста растений (Феномелан, Эпин или Гидрогумат).

На почвах I и II групп обеспеченности почв бором, марганцем и цинком гречиха нуждается в борных, марганцевых и цинковых удобрениях. Микроудобрения вносятся в некорневую подкормку до начала фазы бутонизации в дозе: B – 50 г/га (250 г/га борной кислоты), Mn – 50 г/га (200 г сульфата марганца) и Zn – 50 г/га (200 г/га сульфата цинка). В качестве микроудобрений можно использовать органоминеральные и хелатные формы Эколист, Адоб и др.

8.6. Лен-долгунец

Лен-долгунец – культура высокочувствительная к пищевому режиму. Высокая требовательность к плодородию почвы объясняется слаборазвитой корневой системой с невысокой усвояющей способностью и коротким вегетационным периодом. Лен плохо использует питательные элементы из труднодоступных соединений почвы.

С 1 т основной продукции с учетом побочной лен выносит 58,1 кг N, 22,9 кг P_2O_5, 73,0 кг K_2O, 15,0 кг CaO, 7,8 кг MgO и 16,0 кг SO_4.

Критические периоды в питании растений по азоту – от фазы «елочка» до бутонизации, фосфору – от всходов до образования 10–12 листьев (до фазы «елочки») и калию – в первые три недели роста (фаза «елочки»), а также в фазе бутонизации, когда калий необходим растениям для образования семян и волокна.

При недостатке азота рост льна задерживается, образуются короткие и тонкие однокоробчатые растения, не обеспечивается высокий урожай. В то же время избыток азота усиливает образование листьев, при этом стебель затеняется, быстро вытягивается и полегает, так как механические ткани не успевают окрепнуть. Образуется рыхлое непрочное волокно, задерживается созревание семян.

Фосфорное голодание приводит к приостановлению роста стебля, уменьшению его технической длины, снижению урожая семян и прочности волокна.

Недостаточное калийное питание в первые три недели после всходов ослабевает образование волокна, а после бутонизации ухудшает качество и снижает урожай волокна.

К фазе «елочка», когда рост незначителен, растения льна усваивают 16–36 % азота, 6–15 % фосфора и 11–12 % калия от общего потребления этих элементов. К моменту цветения лен усваивает 60–84 % азота, 63–80 % фосфора и 71–90 % калия от общего потребления в зависимости от сортовых особенностей. Максимальное количество элементов питания лен получает в период быстрого роста от конца фазы «елочка» до цветения.

Лен – типичный хлорофоб. Хлор снижает урожай и ухудшает его качество.

При определении доз удобрений под лен возникает ряд специфических трудностей, обусловленных биологическими особенностями этой культуры (невысокая усвояющая способность корневой системы, короткий период их потребления, повышенная чувствительность к концентрации почвенного раствора и недостатку влаги). Лен больше, чем другие культуры, требует соблюдения доз и правильного соотношения элементов питания, равномерного распределения удобрений по полю.

На почвах, хорошо обеспеченных азотом (содержание гумуса 2 % и более), соотношение между азотом, фосфором и калием должно составлять 1:3:4, а бедных (менее 1,5 % гумуса) – 1:2:2. Система для льна-долгунца трехчленная, включает основное (допосевное) внесение удобрений, припосевное в рядки при посеве и подкормку микроэлементами.

Наиболее пригодными почвами для возделывания льна являются дерново-подзолистые автоморфные (нормального увлажнения) и

временно избыточно увлажненные средне- и легкосуглинистые, связносупесчаные, подстилаемые моренными суглинками и песками, а также рыхлосупесчаные, подстилаемые моренными суглинками ближе 1 м.

Не следует размещать посевы льна на полях мелкоконтурных, крутосклоновых и завалуненных.

При подборе почв для посева льна определяющим фактором является показатель кислотности почвы. Для льна оптимальное значение $pH_{(KCl)}$ находится в узком интервале 5,0–5,6 единиц. При посеве на почвах с $pH_{(KCl)}$ более 6,0 единиц лен поражается кальциевым хлорозом, в силу чего резко снижаются урожайность и качество волокна.

При уровне pH 5,7–5,8 избыток кальция можно нейтрализовать дополнительным внесением калийных удобрений.

На урожайность льна отрицательно действует также повышенное содержание в почве алюминия. Избыток подвижного алюминия (более 2 мг/кг почвы) вызывает токсикоз, стеблестой изреживается, урожайность снижается. Лен чувствителен к недостатку бора и цинка и особенно на известкованных почвах.

Важнейший фактор, обеспечивающий высокую урожайность и качество льноволокна, – сбалансированное питание растений (макро- и микроэлементами).

Рекомендуемые дозы минеральных удобрений под лен-долгунец приведены в табл. 8.1.

Максимально допустимой дозой азота при размещении посевов льна после небобовых предшественников является 35 кг/га д. в. Если лен возделывается после зернобобовых и пропашных, по обороту клеверного пласта (зерновые), то дозы азотных удобрений необходимо уменьшить на 10–15 кг/га д. в. Более высокие их дозы приводят к полеганию стеблестоя, усиливают заболеваемость растений, снижают урожай и качество льнопродукции.

В настоящее время разработаны марки комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений, содержащие необходимые макро- и микроэлементы (бор, цинк, железо и, при необходимости, регуляторы роста растений)**,** в том числе: марка NPK 6:21:32 с B, Zn, Fe предназначена для почв с низким содержанием фосфора; NPK 5:16:35 с B, Zn, Fe – для почв со средним и повышенным содержанием фосфора и низким содержанием калия; NPK 7:15:29 с B, Zn, Fe – для почв с высоким содержанием фосфора и калия. Удобрения рекомендуются для внесения в основную заправку почвы.

В рядки при посеве применяют 15–20 кг/га д. в. P_2O_5. Можно использовать комплексные удобрения аммофос и аммонизированный суперфосфат.

При отсутствии в хозяйствах комплексных форм удобрений для льна рекомендуется применение стандартных форм удобрений (азотных, фосфорных, калийных).

В зависимости от степени кислотности почв рекомендуются три варианта системы удобрения льна-долгунца, которые обеспечивают максимальное снижение поражаемости растений кальциевым хлорозом (табл. 8.18).

Таблица 8.18. **Технологическая схема применения макро- и микроудобрений при выращивании льна-долгунца (урожайность льноволокна 10–12 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
pH 5,5–5,6		
$N_{20–30}P_{60–90}K_{90–120}$	Комплексное удобрение марки 5:16:35 или 6:21:32 или аммофос и хлористый калий	До посева
$B_{30–75}Zn_{46–92}$	Адоб бор, Адоб цинк или МикроСтим бор, МикроСтим цинк	Некорневая подкормка в фазе всходы – начало фазы «елочка» (до высоты растений 4–5 см) в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки, расход рабочего раствора – 200 л/га
pH 5,7–5,9		
$N_{20–30}P_{60–90}K_{150–180}$	Комплексное удобрение марки 5:16:35 или 6:21:32 или аммофос и хлористый калий	До посева
$B_{30–75}Zn_{46–92}$	Адоб бор, Адоб цинк или МикроСтим бор, МикроСтим цинк	Некорневая подкормка в фазе всходы – начало фазы «елочка» (до высоты растений 4–5 см) в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки, расход рабочего раствора – 200 л/га
pH 6,0–6,2		
$N_{20–30}P_{60–90}K_{180–210}$	Комплексное удобрение марки 5:16:35 или 66:21:32 или аммофос и хлористый калий	До посева
$B_{30–75}Zn_{46–92}$	Адоб бор, Адоб цинк или МикроСтим бор, МикроСтим цинк	Некорневые подкормки 1-я – в фазе всходы – начало фазы «елочка» (до высоты растений 4–5 см) в баковой смеси с инсектицидом против льняной блошки; 2-я – через 7–10 дней после первой, расход рабочего раствора – 200 л/га

Для внесения твердых комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений под лен применяют штанговые машины РШУ-12, СУ-12, МТТ-4Ш или центробежные машины РДУ-1,5, РУ-2000, Альфа, RAUCH.

Из **микроэлементов** для льна наиболее важны бор и цинк. Лучшим способом их применения являются некорневые подкормки в фазе «елочка» – 150 г/га д. в. бора и 250 г/га д. в. цинка (можно совмещать с химической прополкой посевов).

8.7. Сахарная свекла

Сахарная свекла – культура, требовательная к почвенным условиям. Лучшими для ее возделывания являются дерново-карбонатные, дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные почвы, подстилаемые моренными суглинками. Наиболее благоприятная реакция почвенного раствора для сахарной свеклы – pH_{KCl} 6,5–7,5, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг, бора – не менее 0,7 мг/кг.

Сахарная свекла в процессе вегетации выносит большое количество элементов питания. С 1 т корнеплодов и соответствующим количеством ботвы сахарная свекла выносит в среднем 4,0 кг азота, 1,6 кг P_2O_5 и 6,5 кг K_2O. Вынос элементов питания этой культурой в значительной мере зависит от вносимых удобрений, плодородия почвы и условий погоды.

Сахарная свекла хорошо реагирует на известкование. Известкование проводится пылевидной доломитовой мукой или отходом сахарного производства – дефекатом. Длительное известкование доломитовой мукой приводит к тому, что содержание магния в почвах свеклосеющих хозяйств республики становится выше оптимального уровня (150 мг/га MgO). На этом фоне проявляется высокая эффективность известкования дефекатом. С гектарной нормой дефеката 8 т/га (эквивалентной 5 т/га доломитовой муки) наряду с кальцием в почву вносится 95 кг/га азота, фосфора, калия и значительное количество микроэлементов цинка, меди, марганца, бора, кобальта. Эффективность известкования проявляется и в последействии на других культурах. Вносить дефекат необходимо разбрасывателями удобрений с центробежными рабочими органами: МВУ-5А, МВУ-8, МХА-7 и др. Известкование следует проводить под предшественник

или непосредственно под сахарную свеклу. Затраты на известкование дефекатом примерно в два раза меньше, чем доломитовой мукой.

В развитии сахарной свеклы имеются три периода: первый – развитие листьев, второй – рост корнеплодов и третий – накопление сахара.

В первоначальный период развития свеклы, когда ее корневая система развита слабо, необходимо наличие в почве доступных питательных веществ в непосредственной близости к прорастающему семени. Недостаток элементов питания в этот период отрицательно сказывается на дальнейшем развитии корнеплода и накоплении в нем сахара. В период образования листьев большое значение имеет повышение в питательной среде удельного веса азота. Чем полнее свекла обеспечена в этот период азотным питанием, тем выше урожайность и сахаристость корнеплодов.

В период роста корнеплодов и накопления сахара снижение удельного веса азота оказывает положительное влияние на урожайность и качество сахарной свеклы. Действие фосфора и калия зависит от обеспеченности свеклы азотом.

Большое значение в правильной системе питания сахарной свеклы имеет оптимальное соотношение между отдельными элементами питания в разные периоды роста. Это соотношение обеспечивается системой удобрений, внесением органических и минеральных удобрений и сочетанием основного внесения удобрений, припосевного и подкормок.

Навоз (40–80 т/га) лучше вносить под предшественники сахарной свеклы – озимые, а под свеклу в этом случае следует применять только минеральные удобрения. Навоз можно вносить и непосредственно под свеклу – осенью под вспашку. Если подстилочный или жидкий навоз вносится после известкования, то необходимо сначала заделать известь. Внесение навоза на неприкрытую доломитовую муку или дефекат приводит к потерям азота.

В начале роста сахарная свекла поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия, однако в этот период она очень чувствительна к недостатку фосфора. Внесение 10–20 кг/га P_2O_5 в рядки при посеве создает благоприятный пищевой режим в первые 15–20 дней после всходов. Эффективно в припосевное удобрение вносить по 10 кг NPK в форме комплексных удобрений. В период интенсивного роста листьев свекла потребляет много азота и калия. Для формирования корнеплодов растениям требуется умеренное азотное и усиленное фосфорное и калийное питание. Максимальное поступление элементов питания в растения свеклы отмечается в июле – августе. К концу вегетации сахарной свеклы 43 % азота, 18 %

фосфора и 38 % калия теряется в результате отмирания, опадения листьев и оттока элементов питания в почву.

Сахарная свекла отзывчива на органические удобрения. Она имеет продолжительный период вегетации и хорошо использует из них питательные вещества.

Важным условием эффективного использования минеральных удобрений является дифференцированное их внесение с учетом планируемого урожая и уровня почвенного плодородия (см. табл. 8.1–8.2).

Наиболее эффективные из минеральных удобрений – азотные. Каждый килограмм азота способствует увеличению урожая корнеплодов на 50–60 кг. Однако с целью улучшения качества корнеплодов максимальные дозы азотных удобрений не должны превышать 130–140 кг/га. Избыточное азотное питание приводит к накоплению альфа-аминного азота в корнеплодах и снижению чистоты клеточного сока, что в результате уменьшает выход сахара. Повышенные дозы азотных удобрений рекомендуется вносить дробно – 90–100 кг/га в основное внесение и 30–40 кг/га в подкормку. Лучшее время подкормки азотом – первая пара настоящих листьев, но не позднее четырех пар листьев. Подкормку азотом завершают до середины июня.

Фосфорные и калийные удобрения вносят под предпосевную культивацию, на связных почвах возможно осеннее внесение фосфора и калия. В основное внесение применяют все имеющиеся в республике формы азотных и фосфорных удобрений. При дозах выше N_{100} КАС, сульфат аммония вносят за 7–10 дней до посева. В качестве калийных удобрений эффективно использовать 40%-ную калийную соль, которая наряду с калием содержит 20 % натрия, внесение которого увеличивает урожай корнеплодов и улучшает их качество.

В почве свеклосеющих районов Беларуси низкое содержание серы. Как серосодержащие удобрения, следует использовать сульфат аммония (3–4 ц/га), фосфогипс (2 т/га) и комплексное серосодержащее удобрение.

Сахарная свекла относится к культурам, чувствительным к недостатку бора. При недостатке бора развивается гниль сердечка, снижаются сахаристость и урожай. Лучшим способом внесения микроудобрений является некорневая подкормка бором (200 г/га) и марганцем (50 г/га д. в.). При этом во время вегетации сахарной свеклы проводятся две некорневые обработки микроэлементами: первая – в фазу смыкания листьев в рядке, вторая – через 1–1,5 месяца после первой.

Целесообразно применение борной кислоты в дозе 2–3 кг/га в почву. В почве бор связывается с органическим веществом и

коэффициент его использования растениями измеряется в десятых и сотых долях процента. С урожаем сахарной свеклы 500 ц/га выносится 400 г/га бора. Две некорневые подкормки бором в фазе 10–12-го листа и повторно через 30–45 дней полностью удовлетворяют потребность в боре этой культуры.

Наряду с борной кислотой можно использовать борные удобрения, содержащие бор в органической форме, как производимые в Беларуси (МикроСтим бор, МикроСил бор), в которых дополнительно содержатся регуляторы роста – Гидрогумат и Экосил, так и в Польше (Адоб бор, Эколист моно бор, Солюбор).

Опытной научной станцией по сахарной свекле разработаны составы удобрительные для некорневых подкормок «Свекла», которые состоят из борной кислоты, мочевины, сернокислых солей марганца, меди, цинка, кобальта, молибденовокислого аммония. Эти составы зарегистрированы и запатентованы и показали высокую эффективность. Первую некорневую подкормку этими составами рекомендуется проводить от смыкания растений в рядках до смыкания в междурядьях, вторую – в конце июля – начале августа, в засуху необходима третья некорневая подкормка.

Разработаны комплексные удобрения для сахарной свеклы, сбалансированные по элементному составу с учетом плодородия почв и биологических особенностей культуры.

Технологическая схема применения удобрений, разработанная РУП «Институт почвоведения и агрохимии», при возделывании сахарной свеклы приводится в табл. 8.19.

Таблица 8.19. **Технологическая схема применения удобрений при возделывании сахарной свеклы (урожайность 500–600 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
Навоз 60–70 т/га	–	Осенью под вспашку
$N_{100–120}P_{60–90}K_{150–180}$	Комплексное удобрение марки 16:12:20 или КАС, мочевина, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Мочевина	В фазе 2–4 листьев
$B_{100–300}Mn_{50}$	Борная кислота (Солюбор ДФ) и сульфат марганца, или ЭлеГум бор и ЭлеГум марганец, или Адоб бор и Адоб марганец	Некорневые подкормки: 1-я – в фазе 10–12 листьев с добавлением мочевины до 10 кг на 200 л рабочего раствора; 2-я – через 1–1,5 месяца после 1-й

8.8. 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 неодинаково. 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. 8.1–8.3).

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 са-

харной, 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 – 800 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: B – 100–300 г/га, Mn – 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 Адоб бор (0,7–2,0 л/га), Эколист моно бор (0,7–2,0 л/га), Адоб марганец (0,3 л/га), Эколист моно марганец (0,3 л/га). Рекомендуется добавлять до 10 кг карбамида на 200 л рабочего раствора.

8.9. Кукуруза

Кукуруза лучше других зерновых культур использует солнечную энергию, благодаря чему обладает большим потенциалом продуктивности и поэтому предъявляет высокие требования к плодородию почвы и применению удобрений. Она хорошо растет на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых, супесчаных и песчаных, подстилаемых моренным суглинком почвах, с высоким содержанием гумуса. Малопригодными для кукурузы являются тяжелосуглинистые, а также песчаные почвы, подстилаемые песками. Непригодны для нее заболоченные почвы с близким стоянием грунтовых вод, с повышенным содержанием солей и кислые почвы с pH_{KCl} выше 5,5. Плодородие почвы в большей мере гарантирует получение высоких урожаев, особенно зерна.

Кукуруза имеет мощную корневую систему, способную извлекать элементы питания из большого объема почвы. С 1 т зеленой массы она выносит 3,3 кг N, 1,2 кг P_2O_5 и 4,2 кг K_2O, а с 1 т зерна и соответствующим количеством побочной продукции 30,2 кг N, 13,3 кг P_2O_5 и 27,6 кг K_2O.

Кукуруза не переносит кислых почв и без известкования даже при внесении органических и минеральных удобрений нельзя рассчитывать на хорошие урожаи этой культуры. Почву под посев кукурузы желательно произвестковать под предшествующую культуру.

Она полнее, чем другие зерновые культуры, использует питательные вещества почвы и удобрений, так как имеет более продолжительный вегетационный период.

Кукуруза – теплолюбивая культура, что в основном определяет требования к условиям произрастания. При недостатке тепла весной она очень медленно развивается в первый месяц после появления всходов. Пониженные температуры в этот период способствуют проявлению относительного голодания растений, так как кукуруза активно потребляет питательные вещества при температуре почвы на глубине 10 см более 10 ^{o}C. В это время она весьма требовательна к наличию в почве легкодоступных питательных элементов.

Питательные вещества кукуруза потребляет на протяжении всего периода вегетации, вплоть до наступления восковой спелости зерна. Однако наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени – выметывание метелок – цветение. К фазе цветения кукуруза усваивает до 60 % азота и фосфора и до 80 % калия от общего выноса урожаем. Поглощение азота продолжается почти до созревания.

Азот особенно необходим кукурузе при появлении 6–7-го листа, когда закладываются метелки и початки. Максимальное поглощение азота приходится на период за две-три недели до выбрасывания метелок.

Поглощение фосфора продолжается более длительное время. Кукуруза усваивает его равномерно вплоть до созревания. Фосфор требуется кукурузе после появления всходов для лучшего развития корней, а также в фазы цветения и образования зерна. Недостаток фосфора в почве задерживает рост и развитие цветков и зерен в початке. Фосфорные удобрения, внесенные в припосевное и основное удобрение, способствуют мощному развитию корневой системы, более раннему образованию початков и созреванию.

Калий необходим на протяжении всей вегетации кукурузы, недостаток его в почве способствует полеганию этой культуры, особенно в увлажненные годы. Однако калий наиболее интенсивно поглощается в первый период вегетации.

Кукуруза потребляет много серы, кальция и магния. Магний и цинк повышают урожай зерна и устойчивость кукурузы к холоду. Недоста-

ток серы сдерживает образование белка, а меди и бора – сахаров, витамина С. При оптимальном борном питании увеличивается озерненность початка.

Кукуруза плохо усваивает питательные вещества из труднорастворимых соединений и выдерживает повышенную концентрацию солей в почве, а также высокие дозы минеральных удобрений в прикорневой зоне.

При возделывании кукурузы в севообороте лучшей системой удобрения является органоминеральная, включающая основное внесение минеральных и органических удобрений, припосевное – фосфора и подкормку азотом и микроэлементами. Доза подстилочного навоза и компостов под кукурузу составляет 60–80 т/га. Лучшим сроком применения является внесение его осенью под вспашку. Под кукурузу можно вносить жидкий бесподстилочный навоз в дозах, соответствующих содержанию в нем азота до 200 кг/га. Более высокие дозы могут приводить к накоплению нитратов в растениях и загрязнению грунтовых вод.

Оптимальные дозы минеральных удобрений определяются в зависимости от содержания фосфора и калия в почве и уровня планируемой урожайности (см. табл. 8.1–8.2).

Фосфорные и калийные удобрения на суглинистых почвах можно вносить осенью под вспашку, на супесчаных – весной под предпосевную культивацию. Обязательным условием (при наличии в хозяйстве соответствующей техники) должно быть внесение фосфора 10–15 кг/га д. в. в рядки при посеве в форме суперфосфата или аммофоса.

Расчетную дозу азота до 120 кг/га вносят в один прием под предпосевную культивацию. При использовании более высоких доз необходимо часть азота (30 кг/га) внести в подкормку в фазе 4–6 листьев. Для подкормки лучше использовать карбамид или КАС. Подкормку кукурузы КАС необходимо проводить опрыскивателями, оснащенными волочильными шлангами, чтобы избежать ожогов растений.

Система удобрения кукурузы в севообороте несколько отличается от системы удобрения ее при повторном посеве. Так, при повторном посеве органические удобрения вносятся через год, а минеральные – ежегодно. Дозы фосфора и калия рассчитываются с учетом планируемой урожайности и содержания P_2O_5 и K_2O в почве.

На посевах кукурузы при низком и среднем содержании цинка и меди в почве рекомендуется проводить некорневые подкормки цинковыми и медными удобрениями в фазе 6–8 листьев в дозе 150 г/га и 50 г/га соответственно. Наряду с сернокислым цинком можно исполь-

зовать Эколист моно цинк в дозе 1,3 л/га или Адоб цинк – 2 л/га в баковой смеси с 10 кг мочевины на 200 л/га рабочего раствора. Адоб медь для подкормки кукурузы используется в дозе 0,8 л/га, Эколист моно медь – 0,6 л/га.

Технологическая схема применения удобрений под кукурузу для получения высокой урожайности приведена в табл. 8.20.

Таблица 8.20. **Технологическая схема применения удобрений при возделывании кукурузы (урожайность зерна 100–110 ц/га)**

Дозы удобрений	Формы удобрений	Сроки применения
Севооборот		
Навоз 60–70 т/га	–	Осенью под вспашку
$N_{90}P_{60–80}K_{120–150}$	КАС или мочевина, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Мочевина	В фазе 4–6 листьев
Zn_{150}	Адоб цинк или сульфат цинка	Некорневые подкормки в фазе 6–8 листьев в баковой смеси с мочевиной – 10 кг на 200 л рабочего раствора
Монокультура		
1-й год – навоз 80 т/га	–	Осенью под вспашку
$N_{70–80}P_{60}K_{120}$	КАС или мочевина, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Мочевина	В фазе 4–6 листьев
2-й год – $N_{90}P_{80}K_{150}$	КАС или мочевина, аммофос, хлористый калий	До посева
N_{30}	Мочевина	В фазе 4–6 листьев
Zn_{150}	Адоб цинк или сульфат цинка	Некорневые подкормки в фазе 6–8 листьев в баковой смеси с мочевиной – 10 кг на 200 л рабочего раствора

Следует отметить, что системы удобрения кукурузы на зерно и на силос существенно не отличаются. Однако непременным условием системы удобрения кукурузы на зерно является обязательное применение фосфорных удобрений в оптимальных дозах.

8.10. Картофель

Картофель в Беларуси является ценной продовольственной, кормовой и технической культурой. Он может давать хорошие урожаи на разных по генезису и гранулометрическому составу почвах. Наиболее

благоприятны для возделывания картофеля дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные почвы, подстилаемые моренным суглинком.

С урожаем картофеля на каждую тонну клубней выносится в среднем 5,4 кг N, 1,6–2,0 кг P_2O_5 и 9,5–10,7 кг K_2O. Установлено, что в растениях картофеля содержится больше всего калия, меньше азота и еще меньше фосфора. Такое соотношение основных элементов питания наблюдается, как правило, во всех почвенно-климатических условиях и на всех сортах картофеля независимо от агротехнических условий его выращивания. Картофель – высокопродуктивное растение и выносит с урожаем больше питательных элементов, чем зерновые, лен, многолетние травы, но меньше, чем сахарная и кормовая свекла.

Наиболее интенсивно растения картофеля потребляют питательные вещества в фазах бутонизация – цветение. Среднепоздние сорта в этот период усваивают около 40–50 % азота, 50 % фосфора и 60 % калия от максимального потребления. Это происходит на протяжении месяца (июль в наших условиях). К уборке в клубнях сосредотачивается 78–80 % азота, 90 % фосфора и 96 % калия от содержания его в урожае.

Картофель является культурой, весьма требовательной к почвенным условиям, что определяется его физиологическими особенностями: слаборазвитой корневой системой и ее высокой потребностью в кислороде в период интенсивного клубнеобразования. Система удобрения картофеля должна обеспечивать не только высокую урожайность, но и хорошее качество клубней, сбалансированных по химическому составу, с низким содержанием нитратов.

Для картофеля наиболее подходят структурированные, плодородные, водопроницаемые, легкого или среднего гранулометрического состава (с содержанием физической глины от 10 до 40 %), достаточно прогреваемые почвы. Оптимальный уровень плотности среднесуглинистых почв составляет 1,0–1,2 г/см^3, супесчаных – 1,3–1,4 г/см^3. При плотности среднесуглинистой почвы 1,4 г/см^3 урожайность снижается на 35–40 %. Плотность почвы определяет не только урожайность, но и товарный вид картофеля – величину, форму и сохранность клубней.

Поля должны быть выровнены (допускается угол склона до 3°), незавалунены, удаленность от хозяйственных центров и населенных пунктов не должна превышать 3 км.

Картофель хорошо переносит повышенную кислотность почвы. Оптимальной для него является кислотность в интервале pH (в KCl) от 5,3 до 5,8. В связи с интенсивным известкованием кислых почв карто-

фель необходимо возделывать в специальных севооборотах, в которых pH почвы не превышает указанные значения. Стабильные урожаи клубней на уровне 350–400 ц/га обеспечиваются при строгом соблюдении всех технологических операций на почвах с содержанием гумуса 2,0–3,0 %, фосфора – 250–300 мг, калия – 200–250 мг в кг почвы. Высокое содержание гумуса способствует большему накоплению крахмала в клубнях картофеля.

Основным условием эффективного возделывания картофеля является совместное применение органических и минеральных удобрений. Для получения урожайности 300 ц/га и более на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых мореной, требуется вносить 55–75 т/га, на супесчаных, подстилаемых песками, – 60–80 т/га органических удобрений. На всех почвах органические удобрения под среднеспелые, среднепоздние и поздние сорта картофеля необходимо вносить с осени под зяблевую вспашку или по зяби с заделкой в почву культиватором, на легких почвах (супесчаные, на песках) – весной. Весеннее внесение органических удобрений на суглинистых почвах приводит к задержке весенне-полевых работ, переуплотнению почвы и существенному недобору урожая.

Обязательными требованиями являются равномерное распределение органических удобрений по поверхности поля и быстрая заделка их в почву. В зависимости от запасов элементов питания и уровня планируемой урожайности рекомендуются следующие дозы минеральных удобрений (см. табл. 8.1–8.2).

Максимально допустимой дозой азотных удобрений при внесении 60–70 т/га органических удобрений являются 120 кг/га д. в.

Предельно допустимые дозы азота для раннеспелых и среднеранних сортов картофеля составляют 110–120 кг/га, среднеспелых – 100–110, среднепоздних и позднеспелых – 80–90 кг/га д. в. Дозы азота для всех сортов семенного картофеля – 60–90 кг/га.

Институтом почвоведения и агрохимии разработано комплексное удобрение для картофеля с содержанием азота, фосфора и калия 16:12:20 с серой и микроэлементами – бором и медью, в котором все элементы питания сбалансированы с учетом биологических требований культуры.

При отсутствии комплексных удобрений применяются простые формы минеральных удобрений: сульфат аммония, аммофос, хлористый калий.

Азотные удобрения лучше вносить весной в один прием под перепашку зяби или культивацию. На супесчаных почвах, подстилаемых

песками, возможна подкормка азотом (20–30 кг/га) в первую междурядную обработку при высоте куста 15–20 см.

Фосфорные удобрения вносят как осенью, так и весной. Эффективным является внесение 20–30 кг/га P_2O_5 в рядки при посадке или полного минерального удобрения $N_{20–30}P_{20–30}K_{20–30}$. Хлорсодержащие калийные удобрения на почвах связного гранулометрического состава рекомендуется вносить осенью под вспашку или весной под культивацию, на почвах легкого гранулометрического состава – только весной.

На почвах 1-й и 2-й групп обеспеченности рекомендуется при планировании высоких урожаев картофеля эффективно применять микроэлементы бор, медь, марганец в начале бутонизации в дозе по 50 г/га д. в. Наряду с борной кислотой, сернокислой медью и сернокислым марганцем можно использовать Адоб бор в дозе 0,5 л/га, Адоб медь – 0,8, Адоб марганец – 0,3 или Эколист медь – 0,6, Эколист марганец – 0,3 л/га. Расход рабочего раствора – 200 л/га. Некорневые подкормки микроэлементами можно совмещать с применением инсектицидов против колорадского жука.

8.11. Озимый и яровой рапс

Яровой и озимый рапс в республике возделываются на площади 300 тыс. га, что составляет 6,3 % в структуре посевных площадей. Окупаемость 1 кг минеральных удобрений (NPK) при возделывании рапса составляет 3,2 кг маслосемян.

Особенности питания. Как озимый, так и яровой рапс предъявляют повышенные требования к плодородию почв, особенно к азотному режиму.

Наиболее пригодными для посева озимого рапса являются плодородные дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы, подстилаемые моренным суглинком, с pH_{KCl} 6,0–6,5. Малопригодны торфяно-болотные почвы из-за возможного поражения корневой системы растений, песчаные – вследствие низкой влагоемкости, а также почвы с близким расположением грунтовых вод.

Рапс яровой хорошо растет на среднесуглинистых и супесчаных почвах, а также можно возделывать данную культуру на мелиорированных землях и торфяниках. Непригодны для возделывания ярового рапса легкие песчаные почвы с близким залеганием грунтовых вод, подстилаемые плотными водонепроницаемыми породами, а также почвы с кислой реакцией среды.

Оптимальные агрохимические показатели почвы: pH_{KCl} – 6,0–6,5, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижных форм P_2O_5 и K_2O – не менее 150 мг/кг.

Для успешной перезимовки посевы озимого рапса следует размещать преимущественно на северных, восточных и северо-восточных склонах, т. е. там, где ниже среднесуточный перепад температур.

Рапс – культура, потребляющая значительное количество азота. С 1 т семян и соответствующим количеством соломы озимый рапс в среднем выносит 54–62 кг азота, 24–34 кг фосфора и 35–40 кг калия, яровой – 55–58 кг азота, 20–24 кг фосфора и 46–53 кг калия, т. е. озимый рапс потребляет немного больше азота и калия, чем яровой.

На ранних стадиях развития (фаза листообразования) озимый рапс от ярового отличается более растянутым периодом поглощения элементов питания и более высокой интенсивностью потребления элементов питания. В дальнейшем динамика поглощения питательных веществ рапсом яровым и озимым имеет одинаковый характер: потребление элементов продолжается до созревания семян, максимальный период поглощения азота, фосфора и калия наблюдается в период стеблевание – бутонизация. К фазе бутонизации рапс озимый и яровой потребляют 65–76 % основных элементов питания.

Рапс характеризуется повышенным требованием к обеспеченности почв микроэлементами, особенно бором, марганцем и цинком, потребность в которых возрастает на произвесткованных почвах. Доступность микроэлементов для рапса снижается в сухие годы, а также при холодной погоде, избыточном фосфорном и азотном питании.

Система удобрения озимого рапса минеральная, двучленная: основное удобрение и подкормка.

Органические удобрения в виде навоза или компоста (20–30 т/га) на песчаных и бедных гумусом почвах рекомендуется вносить под предшественник. Рапс хорошо использует их последействие. Дозы внесения минеральных удобрений для озимого рапса рассчитывают с учетом уровня планируемой урожайности и содержания элементов питания, которые представлены в табл. 8.1–8.2.

Полную дозу фосфорных и калийных удобрений лучше вносить после уборки предшественника под основную обработку почвы с соблюдением приемов, направленных против переуплотнения почвы. Кроме того, для снижения потерь калия от вымывания на почвах с легким гранулометрическим составом целесообразно вносить 60–70 % расчетной дозы калия осенью, а остальную часть – рано весной, причем оптимальной формой калийных удобрений для данной подкормки является сульфат калия.

Азотные удобрения, как правило, применяются после перезимовки озимого рапса в два приема. Только в исключительных случаях азот (не более 30 кг/га) вносят осенью (плохой предшественник, в качестве органического удобрения использовалась солома, низкое плодородие почвы). Чтобы внесение под посев культуры азота, фосфора и калия было сбалансированным, лучше всего применять комплексные удобрения.

Азотные удобрения следует вносить в подкормки. *Первую подкормку* в дозе $N_{110–120}$ проводят во время возобновления весенней вегетации. Лучшими формами азотных удобрений являются аммиачная селитра, КАС, карбамид. В годы с ранней весной в первую подкормку следует вносить 40–60 кг/га азота, а остальную дозу внести в фазе бутонизации. В этом случае возврат весенних заморозков не окажет губительного действия на растения рапса. Также следует учесть, что в первую очередь следует подкармливать ослабленные посевы и посевы, расположенные на легких почвах.

Вторую подкормку ($N_{40–60}$) проводят в фазе стеблевания (примерно через 2–2,5 недели после первой) аммонийной селитрой, КАС, карбамидом. Во вторую подкормку озимого рапса нельзя использовать сульфат аммония, так как это может вызвать ожоги растений. В случае использования сульфата аммония необходимо обратить особое внимание на содержание серы в почве. Так, данное удобрение целесообразно использовать на почвах с низким содержанием обменной серы (менее 6,0 мг/кг почвы). На почвах с более высоким ее содержанием внесение сульфата аммония может приводить к повышению содержания глюкозинолатов в маслосеменах.

При внесении КАС доза азота не должна превышать 30 кг/га. КАС необходимо разбавить водой в соотношении 1:3. При этом в раствор можно ввести микроэлементы и инсектициды. Подкормку следует проводить в утреннее или вечернее время.

При недостаточном внесении азота в первые две подкормки можно провести и *третью* – спустя 1–1,5 недели в фазе бутонизации ***до начала цветения***. В этом случае используют 5–10%-ный раствор карбамида, КАС или ЖКУ, содержащее N, Mn, S, B, Mo. При слабом развитии растений или при густоте стояния растений менее 40 шт/м^2 дозу азота следует повысить на 20–40 кг/га.

Растворы карбамида и жидкие комплексные удобрения необходимо применять совместно со средствами защиты, когда сроки борьбы против большинства вредителей и некорневой подкормки совпадают. Совместное проведение мероприятий по защите растений и некорне-

вых подкормок уменьшает количество проходов сельскохозяйственной техники, тем самым снижает переуплотнение почвы и угнетение растений и существенно уменьшает затраты на возделывание культуры.

При возделывании озимого рапса на маслосемена обязательным условием является проведение некорневых подкормок бором, марганцем, молибденом и магнием. Так, в осенний период (в фазе 3–5 листьев) целесообразно проведение первой некорневой подкормки бором в дозе 30–50 г/га, вторая некорневая подкормка проводится в весенний период (в фазе бутонизации) – бор вносят в дозе 50–70 г/га, марганец – 50–100 г/га, молибден – 30–40 г/га, магний – 50–100 г/га. Также микроэлементы рекомендуется вводить при инкрустации семян – бор в дозе 200 г, марганец – 300 г/т семян, так как подвижность данных микроэлементов при известковании почв снижается.

В качестве микроудобрений можно использовать минеральные соли и хелатные или органо-минеральные соединения, производимые различными производителями (Адоб марганец, Адоб бор, МикроСтим бор, МикроСил бор и др.). Технологическая схема применения макро- и микроудобрений в технологии возделывания озимого рапса, разработанная РУП «Институт почвоведения и агрохимии», приведена в табл. 8.21.

Таблица 8.21. **Технологическая схема применения удобрений при возделывании озимого рапса (урожайность 40–50 ц/га)**

Дозы удобрений, кг/га д. в.	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{20–24}P_{80–100}K_{120–150}$	Аммофос, хлористый калий	До посева
$N_{100–120}$	КАС или сульфат аммония	Весной в начале вегетации
$N_{50–60}$	Мочевина	Через 2–2,5 недели после первой
$B_{0,20}Mn_{0,05}$	Борная кислота (Солюбор ДФ) и сульфат марганца, или Адоб бор и Адоб марганец, или МикроСтим бор или МикроСил бор	Некорневые подкормки: осенью в фазе 4–6 листьев, весной 1-я – в фазе стеблевания, 2-я – перед цветением в баковой смеси с инсектицидом и добавлением мочевины – 12 кг на 200 л рабочего раствора

Основным условием получения высоких урожаев семян ярового рапса является рациональное внесение минеральных удобрений и оп-

тимальное значение pH 5,8–6,5. Система удобрения ярового рапса включает основное внесение удобрений и подкормку.

Органические удобрения целесообразно вносить под предшественник рапса. Фосфорные и калийные удобрения на связных почвах вносят осенью при основной обработке, на легких почвах – в предпосевную культивацию. В качестве фосфорных удобрений можно использовать комплексные удобрения аммофос, аммонизированный суперфосфат, из калийных – хлористый калий.

Дозы фосфорных и калийных удобрений представлены в табл. 8.1–8.2.

С экологической точки зрения, учитывая высокую подвижность азотных удобрений, их внесение следует проводить весной под предпосевную обработку почвы.

Азот под рапс яровой при расчетной дозе более 90 кг/га следует вносить дробно: до посева в виде КАС, мочевины или аммонийной селитры (50 % расчетной дозы) и подкормки. Недостаточное внесение в основное удобрение азота можно компенсировать двукратными внекорневыми подкормками (5–10%-ным раствором карбамида или раствором КАС), но таким образом невозможно заменить основное внесение азотных удобрений. При этом необходимо строго соблюдать концентрацию раствора и не проводить обработку в фазе цветения рапса. Первая подкормка проводится в фазе 4–6 листьев (30 % расчетной дозы) в виде сульфата аммония, мочевины или аммонийной селитры. Вторая подкормка – в фазе бутонизации (20 % расчетной дозы) в виде КАС (обязательно с разведением) одновременно с внесением микроэлементов и инсектицидной обработкой от рапсового цветоеда, с нормой расхода баковой смеси 300 л/га.

Исследования, проведенные кафедрой агрохимии, почвоведения и сельскохозяйственной экологии УО ГГАУ, показали, что с агрономической, энергетической и экономической точек зрения внесение азотных удобрений в дозах более 150 кг/га д. в. неэффективно, так как абсолютные величины прироста урожая при этом снижаются.

При известковании кислых почв происходит уменьшение подвижности многих микроэлементов. В наибольшей степени это относится к бору и марганцу, что требует обязательного дополнительного их внесения на почвах с pH, близкой к нейтральной, или после известкования. Снижение доступности микроэлементов может проявляться также на почвах легкого гранулометрического состава, особенно в засушливые годы. В связи с этим на дерново-подзолистых почвах рекоменду-

ется использовать в виде некорневой подкормки, начиная с фазы 6–8 листьев и заканчивая фазой бутонизации, следующие микроэлементы: бор – в дозе 50–70 г/га, марганец – 50–100 г/га, молибден – 30–40 г/га, магний – 50–100 г/га в виде солей металлов или с использованием микроудобрений, содержащих металлы в хелатной форме.

Однако наиболее оптимальным сроком внесения микроудобрений является фаза бутонизации, которая длится, в зависимости от погодных условий, около месяца. Использование микроудобрений следует совмещать с применением инсектицидов против рапсового цветоеда и скрытнохоботника.

8.12. Однолетние и многолетние травы

8.12.1. Однолетние травы

Однолетние травы в республике ежегодно высеваются на площади более 300 тыс. га. Они используются для получения зеленого корма, силоса, сенажа или семян. В группу однолетних трав входят бобовые (сераделла, горох, вика, люпин), капустные (рапс яровой, рапс озимый, горчица, редька масличная, сурепица озимая), злаковые (райграс однолетний). Все указанные культуры высеваются в чистых (кроме вики и гороха) и смешанных посевах (табл. 8.22).

Таблица 8.22. **Однолетние травы**

Злаковые	Бобовые	Капустные	Смешанные посевы
Райграс однолетний	Сераделла, люпин, горох, вика	Рапс яровой, рапс озимый, сурепица озимая, редька масличная	Люпин + овес, горох + овес, вика + овес, вика + рапс яровой, редька масличная + овес, рапс озимый + райграс однолетний + + сераделла, люпин + горох + + райграс однолетний, горох + + овес + райграс однолетний

Однолетние травы в севообороте могут использоваться как основная или как промежуточная культура.

Для однолетних трав наиболее пригодны суглинистые, супесчаные и песчаные, подстилаемые мореной, а также торфяные почвы.

Средний вынос элементов питания с 1 т зеленой массы однолетних трав представлен в табл. 8.23. Бобовые травы отличаются максимальн-

ным выносом азота, капустные и злаковые – максимальным выносом калия.

Таблица 8.23. **Средний вынос элементов питания однолетними травами**

Вид однолетних трав	N	P_2O_5	K_2O
	кг/т зеленой массы		
Бобовые	4,8	1,3	3,9
Бобово-злаковые	4,5	1,3	4,3
Капустные	4,4	0,9	5,0
Райграс однолетний	3,9	1,7	9,2

Дозы минеральных удобрений зависят от возделываемой культуры, планируемой урожайности, типа почв и их окультуренности (см. табл. 8.1–8.3).

Оптимальная доза азота азотных удобрений под бобово-злаковые смеси составляет 60–80 кг/га. Увеличение дозы азота не приводит к росту продуктивности и ухудшает качество корма. Поскольку бобово-злаковые травосмеси являются хорошим предшественником под озимые зерновые культуры, то под них рекомендуется внесение органических удобрений в дозах 30–40 т/га.

При возделывании райграса однолетнего в чистом виде оптимальная доза азотных удобрений составляет 100–110 кг/га д. в. Для капустных культур рекомендуется внесение 90–100 кг/га азота. Под однолетние бобовые травы азотные удобрения не вносятся.

На торфяных почвах под все однолетние травы рекомендуется применять $N_{20–40}P_{30–40}K_{70–100}$. На деградированных торфяниках доза минерального азота увеличивается до 40–60 кг/га.

Азотные, фосфорные и калийные удобрения вносят в основной прием под предпосевную культивацию.

8.12.2. Многолетние травы

В Республике Беларусь возделывают многолетние бобовые травы (клевер, люцерна посевная, галега восточная (козлятник), донник, лядвенец рогатый), многолетние злаковые травы (тимофеевка луговая, ежа сборная, овсяница луговая, лисохвост луговой, мятлик луговой, кострец безостый, райграс пастбищный, полевица белая, двукисточник) и многолетние бобово-злаковые травы.

В полевых и кормовых севооборотах многолетние травы возделываются в чистом виде либо в смеси бобовых со злаковыми. Эффектив-

нее их возделывать в чистом виде, что позволяет более рационально использовать минеральные удобрения на злаковых травах и потенциал симбиотической азотфиксации бобовых трав. На постоянных участках может возделываться люцерна в течение 5–6 лет и галега (до 10 лет).

Бобовые многолетние травы отличаются способностью использовать азот из воздуха в симбиозе с клубеньковыми бактериями. Коэффициент азотфиксации у этих культур составляет 60–70 %. В связи с этим бобовые многолетние травы не нуждаются в азоте.

Они требуют окультуренных почв с оптимальным содержанием питательных веществ и хорошими водно-физическими свойствами. Условием получения высокой урожайности клевера является pH_{KCl} почвенной среды 6,0–7,0, люцерны – 6,5–7,0.

Многолетние бобовые травы отличаются большим выносом калия. На формирование 1 т сена они расходуют 23,4 кг азота, 5,1 кг фосфора, 27,2 кг калия.

Наиболее интенсивно усвоение элементов питания у многолетних бобовых трав происходит в фазы бутонизации и цветения. В первые годы жизни бобовым травам необходим фосфор в легкодоступной форме. Они требовательны к микроэлементам: бору, молибдену и меди.

Перспективными высокопродуктивными многолетними бобовыми культурами для кормопроизводства республики являются лядвенец рогатый, галега восточная, донник белый. Лядвенец рогатый не требователен к плодородию почвы, устойчив к повышенной кислотности почв, оптимальное значение pH_{KCl} 4,5–7,5. Галега восточная отличается высоким (до 10 лет) продуктивным долголетием. Она хорошо растет на всех почвах (кроме заболоченных и песчаных, развивающихся на песках), требует известкования при pH_{KCl} менее 5,5. Донник белый – двулетнее, засухоустойчивое растение. Он произрастает на всех типах почв (кроме тяжелых переувлажненных и кислых почвах $pH_{KCl} < 5,8$).

Многолетние злаковые травы менее требовательны к почвенным условиям. Они лучше переносят повышенную кислотность, однако на произвесткованных почвах они дают большую урожайность.

Удобрение клевера лугового. Известкование почвы под клевер проводят полной дозой и по возможности за год или за два года до его посева.

Клевер, как правило, высевают под покров ячменя, однолетних трав, озимой ржи. Клевер луговой положительно реагирует на применение органических удобрений под предшественник. При внесении

под покровную зерновую культуру 30–40 т/га навоза клевер быстрее растет в начальный период, повышается надежность его сохранения под покровом и в период зимовки.

Под покровную культуру рекомендуется вносить не более 60 кг азота. При больших дозах азота наблюдается угнетение клевера зерновыми покровными культурами, что отрицательно отражается на сохранности и последующей продуктивности всходов.

Главным критерием определения доз фосфорных и калийных удобрений клевера являются данные по содержанию подвижных форм фосфора и калия в почве и планируемой урожайности клевера (см. табл. 8.1–8.3). Фосфорные удобрения можно вносить в запас или весной после перезимовки (1-й год пользования) в начале возобновления весенней вегетации. Калий также предпочтительнее вносить в весенние подкормки.

Если дозы калия выше 90 кг/га, то их лучше применять дробно под укосы, что обеспечит эффективное использование растениями и снизит потери калия из почвы. В случае, когда растения клевера лугового вышли из-под покрова ослабленные, в первый год его жизни необходима подкормка фосфором и калием. Фосфорные и калийные удобрения способствуют накоплению сахаров в корневых клетках растений клевера и тем самым уменьшают выпадение клевера во время зимовки. Оптимальной дозой удобрения в зависимости от уровня плодородия почвы в подкормку клевера осенью, после уборки покровной культуры, является $Р_{30–60}К_{50–90}$.

На почвах 1-й и 2-й групп обеспеченности бором и молибденом клевер нуждается в борных и молибденовых удобрениях, которые можно внести в некорневую подкормку в фазе бутонизации клевера в дозе 50 г/га бора и 25–50 г/га молибдена. Предпочтительнее с точки зрения энергосбережения предпосевная обработка семян молибдатом аммония в дозе 20 г д. в/ц семян и борной кислотой в дозе 30–50 г д. в / ц д. в. семян.

Важным компонентом современной технологии возделывания бобовых многолетних трав являются инокуляция семян перед посевом и применением регуляторов роста растений. Для увеличения азотфиксации семена бобовых трав обрабатывают Сапронитом в дозе 1 л/т семян. Регуляторы роста рекомендуется применять в фазе начала стеблевания клевера из расчета 350 г/га Квартазина или 50 мл/га Эпина. Прибавка урожая зеленой массы клевера от регуляторов роста составляет 2,5–6,3 т/га, от Сапронита – 5,6–7,2 т/га.

Удобрение люцерны. Люцерна более, чем клевер, требовательна и отзывчива как на общее плодородие почв, так и на обеспеченность их фосфором и калием. Содержание подвижного фосфора и калия должно быть не менее 150 мг/кг почвы. Эта культура высевается под покров и беспокровно.

При беспокровном посеве органические удобрения вносятся непосредственно под люцерну, при использовании покровного посева их применяют в дозах 30–40 т/га под зерновые покровные культуры.

При возделывании люцерны без покрова фосфорные и калийные удобрения вносят в основной прием до посева и в подкормку. Припосевное внесение фосфора в дозе 15 кг/га повышает урожайность и устойчивость люцерны к неблагоприятным условиям. При ежегодном использовании люцерны фосфорные и калийные удобрения вносятся весной в начале возобновления вегетации.

Применение микроудобрений, Сапронита и регуляторов роста растений под люцерну проводится так же, как и на клевере.

Удобрение галеги восточной, лядвенца рогатого, донника белого аналогично системе удобрения клевера лугового и люцерны. Под эти культуры не применяют азотные удобрения. Как исключение, под галегу восточную в первый год жизни (при беспокровном возделывании) допускается внесение азота в подкормку в дозе 30–60 кг/га, если под предшественник или непосредственно под саму культуру не применялись органические удобрения.

Удобрение бобово-злаковых трав отличается от одновидовых травостоев бобовых трав тем, что необходимость внесения азота, а также его дозы зависят от долевого участия бобового компонента. Если долевое участие бобового компонента превышает 30 % (40 растений на 1 $м^2$), то азотные удобрения не дают эффекта и применение их становится нецелесообразным.

При снижении участия бобовых трав в травостое азот в подкормку оправдан. Для поддержания доли бобового компонента в бобово-злаковом травостое азотные удобрения целесообразно вносить только под второй укос. В смешанных посевах бобово-злаковых трав рекомендуется вносить азот дробно под укосы в дозах от 25 до 45 кг/га в зависимости от планируемой урожайности.

Фосфорные и калийные удобрения применяются в один прием рано весной в период возобновления вегетации.

Удобрение злаковых трав. Органические удобрения под злаковые травы вносятся так же, как и под бобовые. Многолетние злаковые тра-

вы требуют внесения полного минерального удобрения. Фосфорные и калийные удобрения вносят в подкормку весной в начале возобновления вегетации растений, азотные – дробно под укосы. Под первый укос многолетних злаковых трав (весной в начале возобновления вегетации) применяют 2/3 от общей дозы азота и 1/3 дозы – под второй. Доза под второй укос составляет 30–40 кг/га.

Формы калийных и фосфорных удобрений могут быть любые. В качестве азотных лучше использовать КАС. Во избежание ожогов растений под второй укос КАС вносят сразу после скашивания первого.

Микроудобрения – сульфат меди, сульфат цинка можно внести при обработке семян в дозах 200–250 г/ц семян.

При возделывании многолетних трав на семенные цели (первый укос убирается на зеленую массу, второй – на семена) надо обязательно вносить органические удобрения (под покровную культуру или предшественник), проводить известкование и применять микроэлементы. Дозы микроудобрений для некорневой подкормки семенных посевов многолетних трав представлены в табл. 8.24.

Таблица 8.24. **Дозы и сроки применения некорневых подкормок микроудобрениями многолетних трав**

Рекомендуемые дозы, г/га	Микроудобрения	Доза, г/га	Сроки применения
Семенники многолетних бобовых трав			
B_{50} $Mo_{25–50}$	Борная кислота	300	Бутонизация
	Молибдат аммония	50–100	
Семенники многолетних злаковых трав			
$Cu_{50–100}$ Mn_{50}	Сульфат меди	200–400	Начало выхода в трубку

8.13. Удобрения сенокосов и пастбищ

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 выносится 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.

Удобряют 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. 8.25.

Таблица 8.25. **Дозы минеральных удобрений для сенокосов на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, 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
	301–400	–	–	20–25	25–30	30–40
Калийные	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 аммиачную селитру, так как по сравнению с карбамидом 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 $м^3$/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. 8.26). При орошении пастбищ дозы минеральных удобрений увеличиваются на 10–15 %.

Таблица 8.26. **Дозы минеральных удобрений для пастбищ на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах**

Удобрения, кг/га д. в.	Содержание P_2O_5 и K_2O, 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
	301–400	–	–	20–25	25–30	30–40
Калийные	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

8.14. Плодовые и ягодные культуры

8.14.1. Особенности питания плодовых и ягодных культур

Основными плодовыми культурами являются: *семечковые* (яблоня, груша, айва), *косточковые* (слива, вишня, алыча, черешня и др.) и *ягодные* (земляника, смородина, крыжовник, малина и др.). Отличительная особенность плодовых и ягодных культур – их длительное возделывание на одном месте (от трех до нескольких десятков лет). При удачном подборе сортов и хорошем уходе они могут плодоносить ежегодно.

Питание многолетних растений имеет особенности, которые необходимо учитывать при применении удобрений.

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 более требовательны к уровню питания, чем семечковые (яблоня и груша).

Плодоносящие деревья из основных элементов 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.

Отчуждение питательных элементов в плодовых насаждениях происходит при обрезке ветвей, снятии плодов, опадании листьев. Своевременная уборка, умеренное азотное питание при достаточной обеспеченности фосфором и калием способствуют закладке плодовых почек и уменьшают периодичность плодоношения.

Корневая система плодовых культур представляет собой разветвленную сеть крупных и мелких корней, пронизывающих почву во всех направлениях. Вертикальные корни яблони на высокорослых подвоях углубляются в почву на 4–8 м, вишни – на 2–3 м. Диаметр круга, занятого корнями, в 1,5–2 раза больше диаметра кроны. Однако плотность корней в пределах проекции кроны в 3–4 раза больше, чем за ее пределами.

Корни черной смородины залегают преимущественно в верхних (до 60 см) слоях почвы и лишь небольшая их часть уходит на глубину 1,5 м. В почвенном слое до 10 см у смородины находится до половины корней. Черная смородина требовательна к уровню питания. Из трех основных элементов питания она больше потребляет азота, меньше калия и еще меньше фосфора. Однако из всех ягодных культур смородина наиболее отзывчива на внесение фосфора. Интенсивнее всего азот усваивается, когда растения выходят из состояния покоя и во время распускания почек. Максимальное потребление фосфора и калия приходится на период распускания почек и цветения.

У крыжовника основная масса корней залегает неглубоко: на глубине 5–40 см. Крыжовник более требователен к уровню калийного питания, чем черная смородина. При выращивании крыжовника на легких почвах может ощущаться недостаток магния, это устраняется внесением доломитовой муки (на кислых почвах) или других магнийсодержащих удобрений. Крыжовник чувствителен к хлору и под него лучше вносить бесхлорные калийные удобрения.

Малина требовательна к плодородию почвы и минеральному питанию. Она имеет мочковатую корневую систему, и основная масса корней у нее залегает в верхних слоях почвы на глубине 10–30 см. Малина отличается высоким выносом питательных элементов, что объясняется образованием множества новых побегов и ежегодным отмиранием не менее половины надземной массы. Она требовательна к уровню фос-

форного питания. Наиболее интенсивно фосфор и калий потребляются малиной в период цветения и завязывания ягод, позже усвоение этих элементов заметно снижается, тогда как потребление азота продолжается и после сбора ягод.

У земляники основная масса корней располагается в верхних слоях почвы. Корневая система у нее мочковатая, разветвленная, с длинными корневыми волосками. В потреблении питательных элементов у земляники выделяется 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 этот период земляника должна быть хорошо обеспечена питательными элементами, особенно азотом и фосфором.

По отношению к кислотности плодовые деревья можно разделить на две группы: слива, вишня, черешня и абрикос, для которых необходима нейтральная реакция (pH 6,5–7,0), и яблоня и груша, которые хорошо растут на слабокислых почвах (pH 6,0–6,5). Ягодные культуры можно разделить на три группы: не переносящие кислых почв и хорошо отзывающиеся на известкование (черная смородина, оптимальное значение pH 6–6,5); растения, хорошо растущие на слабокислых почвах (земляника, pH 5,5–6,0); растения, не переносящие избыток кальция и требующие известкования только сильно- и среднекислых почв (малина, pH 5,5–6,0, и крыжовник, pH 5–6).

8.14.2. Предпосадочное окультуривание почвы и внесение удобрений при посадке сада

Сады закладывают на окультуренных почвах. Окультуривание почвы предполагает известкование, внесение органических удобрений, посев многолетних трав и сидеральных культур. Прежде всего, на участок вносят 80–100 т/га органических удобрений, 90–100 кг/га фосфорных и 100–120 кг/га д. в. калийных. Дозы извести рассчитывают на пахотный горизонт. Лучше две трети дозы запахать, а остальное заделать 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.

При ускоренной закладке садов (без предварительного окультуривания почвы) удобрения вносят только при посадке: в траншеи или

посадочные ямы, а почву в междурядьях окультуривают в последующем.

Ямы под яблоню и грушу копают шириной 1–1,2 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 кг, смородину – 8–10 кг, крыжовник – 10–12 кг. Слаборазложившийся навоз вносить нельзя, так как он может ухудшить приживаемость саженцев.

Если в посадочную яму под яблоню и грушу внести 30–40 кг качественных органических удобрений, то минеральные удобрения, особенно на почвах с повышенной и высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия, можно не вносить. При средней обеспеченности почв под яблоню и грушу вносят по 40 г д. в. фосфора и калия, при низкой – по 60 г. Дозы фосфорных и калийных удобрений под сливу и вишню (из-за меньшего размера посадочных ям по сравнению с семечковыми) снижают в два раза.

Для ягодных кустарников (смородина, крыжовник) 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 используют только верхний перегнойный слой почвы, почву подпахотных горизонтов разбрасывают в междурядьях. Органические удобрения равномерно перемешивают со всей почвой, используемой для засыпки ям. Две трети фосфорных и калийных удобрений высыпают на дно ямы и перекапывают, а остальную часть 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, 4–6 кг фосфорных и 2,0–2,5 кг калийных удобрений. Органические удобрения, как правило, укладывают перед нарезкой полосой по линии будущей траншеи, а фосфорные и калийные лучше высыпать на дно борозды. В открытую траншею высаживают растения, засыпают их почвой и делают лунки для полива.

Для смородины, крыжовника и малины органические удобрения вносятся в борозды, нарезанные плугом. Посадку проводят машиной. При траншейном способе подготовки почвы под малину на 100 м

траншеи вносят 3–5 т органических, 10 кг фосфорных и 20 кг калийных удобрений.

8.14.3. Удобрение молодого и плодоносящего сада

В первые два-три года после закладки сада, пока растения не разрослись, составляют две системы удобрения: одну для молодых саженцев, вторую – для картофеля, овощей, которые размещают в междурядьях. Система удобрения междурядных культур должна быть направлена на повышение плодородия почвы.

Хорошая предпосадочная заправка удобрениями гарантирует рост деревьев в течение первых двух-трех лет. Если рост замедляется, весной поверхностно под первое рыхление вносят азотные удобрения в дозе 4–5 г азота на 1 $м^2$ приствольного круга и заделывают на глубину 10–12 см.

До четырехлетнего возраста приствольный круг (диаметр 2,0–2,5 м) примерно в два раза шире кроны, а у 4–6-летнего дерева (диаметр круга 2,5–3,0 м) – в полтора раза.

Начиная с третьего-четвертого года жизни в молодом саду на почвах повышенного и среднего уровня плодородия в приствольные круги раз в два-три года вносят навоз или компост из расчета 6–8 кг на 1 $м^2$, или 25–30 кг на 3–4-летнее дерево и 40–50 кг на одно 7–8-летнее. Средние дозы азотных и калийных удобрений составляют 9 г, фосфорных – 6 г д. в. на 1 $м^2$. На почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия дозы этих удобрений увеличивают в 1,5 раза, а с высоким – уменьшают.

Фосфорные и калийные удобрения (суперфосфат, хлористый калий и др.) 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, это можно сделать весной. 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 питании всех плодовых культур преобладает азот, то позднее яблони и груши выносят больше калия. Поэтому дозы калия под семечковые увеличивают. В период массового плодоношения междурядные культуры лучше не выращивать. Система содержания почвы в плодоносящем саду может быть паровой, паросидеральной и газонной (дерново-перегнойной). В Беларуси чаще используется паровая система.

Средние дозы удобрений для плодоносящих садов и ягодников при паровой системе содержания почвы приведены в табл. 8.27.

На почвах с низким содержанием фосфора и калия поправочный коэффициент к средней дозе равен 1,3, с повышенным содержанием – 0,75, с высоким – 0,5 и с очень высоким – 0,25. Фосфорные и калийные удобрения дают высокий эффект при внесении их в период покоя (с октября до начала вегетации). В приствольных кругах удобрения лучше заделывать на глубину 10–15 см, в междурядьях – до 20 см. Особенно осторожно обрабатывают почву под яблонями на слаборослых подвоях, корневая система которых расположена поверхностно.

Наилучшие результаты дает дробное внесение азотных удобрений: 40 % от общей дозы рано весной, 30 – после цветения и 30 % – осенью. Как показали многочисленные исследования, дозы азота свыше 120 кг/га себя не оправдывают. Лучшим азотным удобрением является мочевина, лучшими фосфорными – двойной аммонизированный суперфосфат, аммофос, из калийных могут применяться хлористый калий и другие формы.

Таблица 8.27. **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_2O_5	60	90	50	60	80	120	60	90
K_2O	90	120	50	90	60	90	80	120

*Органические удобрения вносят в дозе 40–45 т/га раз в три года в плодовых и 30–40 т/га раз в два года в ягодных насаждениях.

Очень важно обеспечить плодовое дерево питательными элементами во время второй волны активного роста корней (конец сентября – начало октября), когда накапливаются резервные питательные элементы, от чего зависит морозоустойчивость, рост и урожайность растений в следующем году. Удобрения, внесенные осенью, используются деревьями до наступления зимы. Поэтому в последнее время рекомендуется вносить примерно 30 % дозы азота осенью после уборки урожая.

Для оптимизации минерального питания плодовых культур проводят некорневые подкормки макро- и микроэлементами. 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%-ный раствор мочевины, для груши – вдвое слабее, сливы – 0,6–0,8%-ный и вишни – 0,4–0,8%-ный.

При слабом поражении яблони розеточностью из-за недостатка цинка эффективны двух-трехкратные некорневые подкормки 0,3–0,5%-ным раствором сульфата цинка.

При низком содержании в почве водорастворимого бора (менее 0,1 мг/кг) уменьшается завязывание плодов, появляется опробковение. Это можно устранить некорневыми подкормками 0,05%-ным раствором борной кислоты. Расход раствора – 800 л/га. Некорневые подкормки плодовых культур совмещают с обработкой против вредителей и болезней.

8.14.4. Удобрение ягодных культур

Землянику возделывают в специальных севооборотах. Это свето- и влаголюбивое растение. Высокие урожаи земляника дает на плодородных, хорошо окультуренных почвах, содержащих не менее 150 мг/кг подвижного фосфора и калия. Поэтому перед посадкой проводят глубокую обработку почвы, вносят 70–80 т/га полуперепревшего навоза, перегноя или хорошо вызревшего компоста. Их заделывают не позднее чем за 7–10 дней до посадки. Посадку земляники можно проводить в течение всего вегетационного периода, но не позже 20–25 августа.

Фосфорные и калийные удобрения можно внести в запас на три года вместе с органическими удобрениями, но можно применять и ежегодно. В первом случае средние дозы фосфора составляют 100–120 кг/га, 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. Но если растения отстают в росте, весной вносят 30–40 кг/га азота.

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 кг/га калия.

Из азотных удобрений можно использовать карбамид, фосфорсодержащих – аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Можно использовать комплексные удобрения, содержащие азот, фосфор и калий (АФК 16:16:16 и др.)

Эффективна в начале роста подкормка раствором микроэлементов и мочевины (по 0,02 % перманганата калия, борной кислоты и молибденовокислого аммония и 0,2 % мочевины). Повышает урожай земляники на 15–20 % и двукратная обработка растений – в начале цветения и во время роста завязей – 0,01–0,02%-ным раствором сернокислого цинка.

На хорошо заправленных почвах черная смородина и крыжовник несколько лет не нуждаются в фосфорных и калийных удобрениях и можно ограничиться внесением азотных удобрений до распускания почек в дозе 60 кг/га. Средние дозы удобрений на плодоносящих плантациях смородины и крыжовника приведены в табл. 8.27. 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.

Малина очень отзывчива на внесение органических и минеральных 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 в период полного плодоношения вносят 90 кг/га азота, 60–90 кг/га фосфора и 90–120 кг/га калия. Более высокие дозы фосфора и калия применяют на слабообеспеченных почвах, низкие – на почвах с повышенным содержанием этих элементов.

8.15. Удобрения овощных культур

Овощные культуры по сравнению с полевыми более требовательны к внешним условиям (температуре, влаге, питанию) и дают хорошие урожаи лишь на окультуренных дерново-подзолистых, пойменных и торфяных низинного типа почвах. Корневая система овощных культур располагается в пахотном слое. Из-за слабого развития корневой системы у большинства овощных культур их следует располагать на плодородных, хорошо аэрируемых почвах с содержанием гумуса не менее 2,5 % и подвижных форм фосфора и калия не менее 150–200 мг/кг почвы.

По выносу питательных элементов овощные культуры делят на четыре группы: с высоким уровнем выноса – средние и поздние сорта

капусты; со средним – томаты, огурец, лук; с низким – свекла, морковь и очень низким – редис. 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.

Большинство овощных культур чувствительны к высокой концентрации почвенного раствора. Самые чувствительные к концентрации солей – лук, чеснок, морковь и огурец, более выносливые – свекла, капуста, томаты. Под лук и чеснок лучше всего вносить хорошо разложившийся навоз, а минеральные удобрения в небольших дозах сочетать с органическими. Столовая свекла, томаты, морковь хорошо реагируют только на минеральные удобрения, а органические удобрения нужно вносить под предшественник.

Разные овощные культуры обладают неодинаковой способностью усвоения питательных элементов из почвы. Особенности культур усваивать питательные элементы из почвы обусловлены их биологией: строением корневой системы, длиной вегетационного периода и т. д. Капуста отличается быстрыми темпами поступления питательных элементов, лук, морковь, столовая свекла – медленными, томаты занимают промежуточное положение.

Большинство овощных культур предпочитает слабокислую или нейтральную реакцию почвы. На кислых почвах могут расти щавель, томат, редька, репа; плохо переносят кислотность капуста, свекла, огурцы, бобы, сельдерей, лук, а салат, фасоль, шпинат и чеснок хорошо растут только на нейтральных почвах. Почвы с повышенной кислотностью необходимо известковать. Хорошо отзываются на непосредственное внесение извести капуста белокочанная и столовая свекла. По последействию извести лучше удаются лук, морковь, огурец, салат.

Основное количество органических, фосфорных и калийных удобрений вносят под осеннюю вспашку, а азотных – весной. Для мелкосемянных и ранних культур возможно рядковое внесение удобрений при посеве. На этот прием отзывчивы редис, шпинат, салат, укроп, морковь и столовая свекла (на пучковую продукцию). Под морковь и репчатый лук вносится только фосфор (гранулированный суперфосфат), а под столовую свеклу, огурцы, томаты, белокочанную капусту – полное минеральное удобрение. При рядковом внесении, во избежание отрицательного влияния на растения, удобрения должны располагаться в 2–3 см от семян. При механизированной посадке рассады удобрения вносят с водой (концентрация раствора до 0,2 %).

Если удобрения не внесены в основную заправку, 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 листочка) 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 междурядий на глубину 10–12 см.

Белокочанная капуста – одна из основных овощных культур. Ее стержневой корень уходит вглубь до 0,5 м. Хорошо растет на почвах со слабокислой и нейтральной реакцией среды (pH 6,5–7,2). На кислых почвах поражается килой. На каждые 100 ц основной продукции потребляет в среднем 31 кг азота, 12 кг фосфора и 40 кг калия. Максимум питательных элементов потребляет при формировании кочана. Капуста очень хорошо отзывается на органические удобрения. Она отличается исключительно высокой требовательностью к азоту и интенсивно потребляет его вплоть до уборки урожая. Дозы удобрений под капусту в зависимости от обеспеченности почвы питательными элементами и высоты планируемого урожая приведены в табл. 8.28 и 8.29.

Таблица 8.28. **Дозы удобрений под овощные культуры, кг/га**

Культура	Урожайность, ц/га	Дозы азотных удобрений при степени окультуренности почв			Дозы фосфорных удобрений при обеспеченности почв P_2O_5				Дозы калийных удобрений при обеспеченности почв K_2O			
		средней	хорошей	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой	низкой	средней	повышенной	высокой
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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

Окончание табл. 8.28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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	210
Морковь	300	30	–	–	–	60	10	10	–	90	60	30
	500	90	30	30	–	80	60	10	–	150	120	90
Свекла столовая	300	30	–	–	–	60	40	10	–	90	60	30
	500	90	30	30	–	80	60	10	–	150	120	90
Торфяники												
Морковь	300	30	–	–	–	60	40	10	–	90	60	30
	500	60	30	–	–	100	80	60	–	150	120	60
Свекла столовая	300	30	–	–	–	60	40	10	–	90	60	30
	500	60	30	–	–	100	80	60	–	150	120	90

*На дерново-подзолистых и пойменных почвах фон для капусты – 49 т/га, для огурцов – 60–80 т/га навоза.

Навоз и фосфорно-калийные удобрения под капусту вносят осенью или весной под вспашку, азотные – незадолго до высадки рассады. Предельная доза азота составляет 120 кг/га. Местное внесение при посадке по 15 кг/га д. в. сложных удобрений (нитроаммофоски, нитрофоски 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. 8.29).

При возделывании на известкованных почвах капуста испытывает потребность в боре. Его вносят в основное удобрение (1 кг/га). Под капусту применяют сульфат аммония, мочевину, аммонийную селит-

ру, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий, аммофос и другие формы однокомпонентных и сложных удобрений. Она хорошо отзывается, как и другие культуры семейства капустных, на серосодержащие удобрения.

Таблица 8.29. **Дозы удобрений в рядки и для подкормки овощных культур, кг/га**

Культура	В рядки при посеве (посадке)			Первая подкормка			Вторая подкормка		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Капуста белокочанная: ранняя	14	20	10	20	–	30	–	–	–
среднепоздняя	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

Урожайность **столовой моркови** при благоприятных условиях может достигать 600–700 ц/га. Такая урожайность не может быть обеспечена за счет естественного плодородия почвы, поэтому под морковь необходимо вносить удобрения. Оптимальная реакция почвы для столовой моркови pH_{KCl} 6,0–6,5. В отличие от столовой свеклы морковь не переносит избытка кальция, поэтому известкование проводят под предшественник. На 100 ц товарной продукции морковь в среднем выносит 23 кг азота, 10 кг фосфора и 38 кг калия, это калиелюбивая культура. Морковь отрицательно реагирует на высокие концентрации почвенного раствора. Она очень хорошо использует последействие органических и минеральных удобрений и не требует непосредственного внесения больших доз минеральных удобрений. Под морковь можно применять карбамид, аммофос, хлористый калий, калийную соль и другие формы удобрений.

Нельзя непосредственно перед посевом моркови вносить свежий навоз, так как это вызывает ветвление корнеплодов, снижает их лежкость в период зимнего хранения. В то же время она отзывчива на внесение перепревшего навоза (30 т/га). Предельная доза азота под морковь составляет 90 кг (на торфяниках – 30–60 кг). Она положительно реагирует на натрий, поэтому лучшей формой калийных удобрений для нее является калийная соль.

Система удобрения моркови складывается из основного и припосевного внесения. При необходимости проводят подкормки минеральными удобрениями через две-три недели после всходов (см. табл. 8.29).

Столовая свекла по сравнению с морковью отличается более высоким выносом питательных элементов, и под нее применяют более высокие дозы удобрений, прежде всего азотных (см. табл. 8.28). С 100 ц товарной продукции столовая свекла выносит 27 кг азота, 15 кг фосфора и 43 кг калия.

Оптимальная реакция почвы для столовой свеклы, близкая к нейтральной (pH_{KCl} 6,2–7,5). Дозы известковых удобрений в севооборотах со столовой свеклой увеличивают на 30 %. Столовая свекла – калиелюбивая культура, требовательная к бору. При недостатке бора (особенно после известкования) она снижает урожайность и может заболеть сердцевинной или серой гнилью. Недостаток бора устраняется внесением 1,0 кг/га бора.

Органические удобрения под столовую свеклу следует вносить с осени или под предшествующую культуру. Непосредственное внесение слабоперепревшего навоза под нее оказывает отрицательное влияние на качество корнеплодов.

Система удобрения столовой свеклы состоит из основного и припосевного внесения. Можно проводить подкормки: при появлении 1–2 настоящих листочков и в начале формирования корнеплода. Дозы азота под столовую свеклу не должны превышать 90 кг/га, а на торфяных почвах – 60 кг/га. Столовая свекла хорошо отзывается на внесение хлоридов калия и особенно калийных удобрений, содержащих натрий, в частности калийной соли.

Огурец – культура очень требовательная к плодородию почвы, что объясняется коротким вегетационным периодом, слаборазвитой корневой системой и низкими по сравнению с другими овощными культурами коэффициентами использования питательных элементов из удобрений.

Огурцы следует размещать на почвах с высоким содержанием гумуса и обязательно вносить органические удобрения. Огурцы чувствительны к кислой реакции почвы (оптимальный интервал pH_{KCl} 6,5–7,0). Известкование лучше проводить под предшественник, а под огурцы – небольшими дозами (1–2 т/га).

В расчете на 100 ц плодов огурцы выносят 29 кг азота, 19 кг фосфора и 44 кг калия. Максимальное потребление питательных элементов приходится на период плодообразования.

Огурцы очень отзывчивы на повышенные дозы органических удобрений. Навоз улучшает тепловой режим, усиливает микробиологическую активность почвы, является источником макро- и микроэлементов, повышает снабжение растений углекислотой, которая хорошо усваивается его стелющимися листьями. Сочетание органических и минеральных удобрений способствует повышению урожайности огурца. Огурцы не переносят высокой концентрации почвенного раствора, поэтому система удобрения включает основное внесение, припосевное и подкормки. Первую подкормку проводят спустя 15–20 дней после посадки, вторую – в начале цветения. Огурцы склонны к накоплению нитратов, поэтому предельная доза азота составляет 90 кг/га.

Томаты высаживают в грунт рассадой. Корневая система у них мочковатая, хорошо развитая, проникает в глубь почвы на 100–120 см. В расчете на 100 ц плодов ранние сорта томатов потребляют 20–35 кг азота, 7–9 кг фосфора и 40–50 кг калия, среднеспелые – 30–40, 8–12 и 50–60 кг соответственно. Таким образом, томаты по сравнению с другими культурами потребляют относительно мало питательных элементов. Томат хорошо растет на окультуренных слабокислых почвах (pH_{KCl} 5,6–5,7).

Из-за короткого периода вегетации в Беларуси возникают трудности при использовании азотных удобрений под томаты. Усиление азотного питания приводит к разрастанию вегетативной массы растений и затягиванию (на 15–20 дней) периода созревания плодов. Сильному развитию вегетативной массы способствует и внесение под томат навоза, поэтому непосредственно под эту культуру слаборазложившийся навоз вносить не рекомендуется. Применяют только перегной или перепревший навоз в дозе 25–30 т/га. Томат требователен к фосфору, особенно при недостатке тепла. Поэтому под томаты рекомендуется вносить повышенные дозы фосфорных удобрений. Внесение калийных удобрений не всегда способствует повышению урожайности, но оказывает положительное влияние на качество плодов.

На почвах с низким содержанием бора томаты хорошо отзываются на внесение борных удобрений. Их вносят до посева в дозе 1 кг/га бора или при некорневой подкормке – 500 г борной кислоты на 1 га. Борные удобрения повышают сахаристость плодов и содержание в них витамина С.

Репчатый лук. Особенности лука – слабое развитие корневой системы и неглубокое ее расположение в пахотном слое, а также чувствительность к высокой концентрации почвенного раствора. Лук

предпочитает окультуренные супесчаные и легкосуглинистые почвы. Хорошие урожаи он дает и на низинных торфяниках, однако избыток азота затягивает созревание луковиц и они плохо хранятся. Для лука оптимальной является близкая к нейтральной реакция почвы (pH 6,0–7,0).

Лук хорошо отзывается на внесение перепревшего навоза или перегноя (30 т/га). Свежий навоз (50–60 т/га) вызывает сильный рост пера и затягивает созревание луковиц, поэтому его вносят под предшественники. Хорошие результаты дает совместное внесение органических и минеральных удобрений.

Для образования 100 ц лука-севка необходимо 53 кг N, 16 кг P_2O_5 и 40 кг K_2O; для лука-репки – соответственно 20, 11 и 29 кг. Питательные элементы в первые два месяца лук потребляет медленно, период максимального потребления – фаза формирования луковицы. Луку для образования ароматических веществ нужна сера, поэтому лучше использовать серосодержащие удобрения (сульфат аммония, простой суперфосфат 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 подвижным фосфором и калием по последействию 40–60 т/га навоза при планируемой урожайности лука 20 т/га вносят 80 кг/га д. в. азотных, 90 кг/га калийных и 70 кг/га фосфорных удобрений. Если планируется получить 30 т/га, дозу азота увеличивают до 90 кг/га. На пойменных почвах в первом случае вносят 70 кг/га азота, 60 кг/га фосфора и 90 кг/га калия, во втором – соответственно 90, 70 и 90 кг/га. Система удобрения репчатого лука включает основное, припосевное удобрение и подкормки. При посеве вносят гранулированный суперфосфат в небольших дозах (10–20 кг/га д. в.). Подкормки проводят только в первой половине лета (иначе луковицы не вызревают): через месяц после посадки севком и через 2–2,5 месяца при посеве семенами (см. табл. 8.29).

8.15.1. Применение удобрений в защищенном грунте

Овощные культуры в теплицах потребляют значительное количество элементов питания (табл. 8.30).

Таблица 8.30. **Вынос элементов питания овощными культурами с урожаем, г/кг продукции**

Культуры	Элементы питания				
	N	P	K	Ca	Mg
Томат	3,2	0,4	5,2	3,8	0,5
Огурец	1,4	0,4	2,2	1,2	0,2
Салат кочанный	2,3	0,3	3,3	0,7	0,2
Редис	3,3	0,7	4,0	2,0	3,3
Перец сладкий	4,0	0,6	4,7	2,4	0,5

При выращивании овощей в защищенном грунте проблема накопления нитратов в продукции обостряется. Производство экологически чистой продукции зависит от условий выращивания, субстрата, использования световой энергии, защиты растений и ряда других причин.

В условиях защищенного грунта питание овощных культур имеет свои особенности. Тепличные грунты обладают высоким содержанием органического вещества, а объем корнеобитаемой среды ограничен (малообъемная культура). Частые и обильные поливы способствуют вымыванию питательных элементов, а многократные подкормки – накоплению в грунте балластных образований. Все эти особенности требуют создания специальных грунтов. В качестве тепличных грунтов используются грунты следующего состава:

1) низинный торф (75 %) + дерновая земля (25 %);
2) низинный торф (60 %) + дерновая земля (20 %) + навоз (20 %);
3) низинный торф (100 %);
4) верховой торф (100 %);
5) торф (80 %) + лузга гречихи (20 %);
6) торф (65 %) + лузга гречихи (35 %);
7) торф (50 %) + лузга гречихи (50 %).

В грунтовых теплицах толщина насыпного слоя почвы (грунта) 25–30 см. На 1 $м^2$ теплицы надо заготовить не менее 0,20–0,25 $м^3$ грунта.

В промышленном тепличном овощеводстве практикуют многолетнее использование почвенных грунтов в течение 15–25 лет при соблюдении комплекса мероприятий по обеззараживанию (пропаривание, газовая и влажная дезинфекция) и рассолению (промывка при наличии дренажной системы). Навоз для теплиц в целях биотермической дезинфекции складируют отдельно в штабеля сроком на 2–3 месяца.

Низинный торф должен обладать определенными свойствами: нормальнозольный (около 12 % золы), степень разложения не более 40 %, влагоемкость 500–1000 %, степень насыщенности основаниями 65 %, средняя емкость катионного обмена 137 смоль/кг, содержание азота 1,6–2,6 %, фосфора – 0,05–0,40 %, калия – 0,03–0,20 %, кальция – 1,5–3,0 %, железа – 0,20–3,0 % на абсолютно сухой торф. Не рекомендуется использовать известковые и вивианитовые торфа, а также торф с высоким содержанием бора.

Верховой торф в чистом виде и в смесях все больше привлекает внимание как экологически чистый субстрат для выращивания овощей в защищенном грунте. Он отличается невысокой стоимостью по сравнению с минеральной ватой, легкостью утилизации, большими природными запасами. При использовании в качестве субстрата получают не меньший, чем на минеральной вате урожай, а большая буферная способность его позволяет снизить риск, связанный со сбоями в работе систем орошения. Овощи можно также выращивать на соломенных тюках. Солома должна быть свежей и не обработанной гербицидами. Ее прессуют в тюки размером 0,5×0,5×1,0 м.

Для выращивания в теплицах используют и инертные материалы:

1) минеральная вата;
2) перлит;
3) алгопорит;
4) керамзит;
5) керамзит + 5 % глины.

Инертные материалы не содержат питательных элементов, но при внесении удобрений способны их накапливать.

Минеральная вата – это импортный, дорогостоящий субстрат, который не утилизируется в Беларуси. Ее можно использовать только 2 года. Для утилизации ее можно отвозить в Нидерланды, что обходится очень дорого. Перлит, алгопорит, керамзит, керамзит + глина – это белорусские материалы, которые можно использовать 5 лет. С их утилизацией не бывает проблем.

Для определения агрохимических показателей почвогрунта широко используются результаты анализов водной вытяжки тепличных грунтов. Оптимальная реакция тепличных грунтов должна быть близкой к нейтральной, pH водной вытяжки 6,5–6,8. Дозу извести тепличных грунтов определяют с использованием величины pH солевой вытяжки или по гидролитической кислотности (1/2 Hг).

Тепличные грунты по содержанию водорастворимых питательных веществ подразделяются на 5 уровней: низкий, умеренный, оптимальный, повышенный, высокий (табл. 8.31).

Таблица 8.31. **Уровни обеспеченности тепличных грунтов элементами питания**

Уровень обеспеченности	Содержание, мг/л грунта			
	N	P_2O_5	K_2O	Mg
Низкий	0–42	0–11	0–66	0–24
Умеренный	43–48	12–22	67–133	25–48
Оптимальный	85–126	23–34	134–199	49–72
Повышенный	127–168	35–45	200–250	73–96
Высокий	169–210	46–57	251–350	97–120

При выращивании овощных культур на тепличных субстратах удобрения вносят в виде основной дозы и подкормок. Под томат, перец и особенно огурцы не применяют высокие дозы удобрений до вступления растений в плодоношение с целью ограничения вегетативного роста.

Для получения высокого урожая под овощные культуры для создания аэрации корневой системы вносят значительные нормы рыхлящих материалов и органических удобрений. Внесение навоза и рыхлящих материалов с высоким содержанием аммиака нежелательно, так как нередко приводит к ожогам растений.

Свежеприготовленные насыпные грунты до внесения удобрений содержат небольшое количество элементов питания, которое нужно увеличить до необходимого уровня. В грунт вначале вносят органические удобрения (навоз или компост). Если первая культура огурец, то применяют 250–300 т/га компоста. В последующие годы дозу органических удобрений снижают до 150–200 т/га и применяют их ежегодно.

Считается, что с 300 т навоза на 1 га вносится в среднем 1500 кг азота, 330 кг фосфора, 1500 кг калия, 60 г кобальта, около 10 т зольных веществ (не менее 5 т кальция и магния).

Органические удобрения (навоз, компосты) во избежание ожогов вносят за 7–10 дней до посадки растений. В грунте содержание аммиачного азота не должно превышать 25–30 % от общего количества минерального азота. Недопустимо применение жидкого навоза, который цементирует и уплотняет грунт. Органические удобрения вносят на глубину слоя грунта, после чего отбирают пробы на агрохимический анализ. По его результатам рассчитывают количество известковых материалов и минеральных удобрений, которые необходимо внести в

основную заправку. Избыток азота в грунте перед посадкой можно устранить внесением опилок из расчета 100 $м^3$ на 1 га, снижая тем содержание его на 10 мг/л. Вносят опилки за 1,5–2 месяца до посадки рассады. Дозы внесения минеральных удобрений в основную заправку (перед посадкой растений) приведены в табл. 8.32.

Таблица 8.32. **Дозы внесения удобрений в основную заправку, кг/га**

Уровень содержания питательных веществ в грунте	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Томат					
Низкий	315–250	600–450	1000–780	350–300	620–420
Умеренный	250–190	450–230	780–570	300–210	420–260
Оптимальный	190–130	230	570–390	210–140	260–160
Повышенный	130–60	–	390–180	140	160–80
Огурец					
Низкий	250–170	600–450	390–260	300–210	180–130
Умеренный	170–85	450–230	260–130	210–105	130–80
Оптимальный	85	230	130	105	80
Редис					
Низкий	75	300–150	260–180	65	105
Умеренный	–	150	180–90	–	–
Оптимальный	–	–	90	–	–
Перец					
Низкий	230–180	500–350	380–240	170–130	360–190
Умеренный	180–130	350–100	240–120	130–65	190–85
Оптимальный	130–80	100	120	65	85
Повышенный	80	–	–	–	–

Дозы минеральных удобрений зависят от культуры и уровней содержания питательных веществ в грунте. После заправки грунта органическими и минеральными удобрениями берут пробу грунта для определения в них элементов питания.

Первый анализ грунта для проведения подкормок осуществляется через месяц после посадки рассады в грунт. Расчет доз внесения удобрений в подкормки проводят по результатам ежемесячного анализа грунта, доводя уровень содержания элементов питания до оптимального.

Основную заправку проводят до рекомендуемых оптимальных уровней (табл. 8.33).

Таблица 8.33. **Оптимальные уровни питания для основной заправки, мг/л**

Культуры	pH	N	P	K	Ca	Mg
Томат	5,5–5,8	130–160	25–40	220–250	200–220	60–70
Огурец	5,9–6,0	120–150	30–40	200–220	180–200	60–70
Сладкий перец	5,7–6,0	100–130	20–30	180–200	150–180	50–60

В табл. 8.34 приведены рекомендуемые дозы элементов питания для подкормок овощных культур на торфяном субстрате.

Таблица 8.34. **Уровни питания и корректировка питательного раствора на торфяном субстрате**

Культуры	Градация уровней и поправок	Содержание в субстрате	N	P	K	Ca	Mg
Томат	Уровни питания, мг/л	Низкое	<60	<10	<100	<120	<30
		Умеренное	60–130	10–25	100–220	120–200	30–60
	Поправки питательного раствора, мг/л	Низкое	+85	+25	+135	+90	+35
		Умеренное	+50	+15	+75	+50	+20
Огурец	Уровни питания, мг/л	Низкое	<80	<20	<130	<120	<40
		Умеренное	80–120	20–30	130–200	120–180	40–60
	Поправки питательного раствора, мг/л	Низкое	+55	+15	+80	+70	+25
		Умеренное	+35	+10	+45	+40	+15
Сладкий перец	Уровни питания, мг/л	Низкое	<60	<10	<100	<90	<30
		Умеренное	60–100	10–20	100–180	90–120	30–50
	Поправки питательного раствора, мг/л	Низкое	+55	+15	+90	+75	+25
		Умеренное	+35	+10	+50	+60	+15

Подкормку (капельный полив) повторяют через 7–15 дней. Огурцы и томаты за вегетацию подкармливают 5–8 раз. Некорневые подкормки следует проводить в пасмурные дни или в первую половину дня. Исключается проведение подкормок в день сбора плодов.

Раствор для подкормки должен быть определенной концентрации, которая зависит от культуры и фазы развития культуры.

Концентрация питательных веществ в начальные фазы развития более низкая, чем в поздние фазы. В солнечные дни концентрацию питательных растворов уменьшают. Подкормки заканчивают за месяц до окончания сбора урожая.

Современные технологии выращивания овощных культур в зимних теплицах предусматривают использование удобрений, обеспечивающих не только полноценное минеральное питание, но и бесперебойную работу системы капельного полива. Удобрения для теплиц должны отличаться высокой химической чистотой и полной растворимостью. Для всех удобрений для теплиц вводятся строгие ограничения по содержанию таких токсических для овощных растений элементов, как хлор и натрий. Помимо этого капельная система орошения может работать только при условии полной растворимости, так как выпадение солей в осадок приводит к нарушению работы оборудования вплоть до полного выхода из строя. Выбор удобрений для теплиц следует проводить с учетом того, что все марки используемых удобрений можно было бы смешивать и растворять в одной емкости, создавая необходимые пропорции элементов питания.

Капельный полив широко применяется в практике тепличного овощеводства во всем мире. Однако современные капельные системы весьма дороги.

В институте овощеводства НАН Беларуси разработана упрощенная система локального (капельного) орошения на основе так называемого увлажнителя с верхним экраном. Она обеспечивает вполне удовлетворительное качество полива, но при этом значительно дешевле зарубежных систем.

Для удобрения овощных культур в теплицах широко применяются удобрения Буйского химического завода, Россия (табл. 8.35), ЗАО «Кемира Агро», Россия (табл. 8.36), удобрения PG Mix (табл. 8.37).

Таблица 8.35. **Характеристика удобрений Буйского химического завода**

Виды удобрений	Состав и содержание, %
Монофосфат калия	Фосфор – 22,9 Калий – 28,5
Сульфат магния	Магний – 10,0 Сера – 13,5
Селитра калиевая	Азот – 13,8 Калий – 38,2
Селитра кальциевая	Азот – 15,5 Кальций – 19,0

Таблица 8.36. **Характеристика водорастворимых удобрений ЗАО «Кемира Агро»**

Элементы питания		Содержание, %						
Название	Формула	Кемира Комби	Кемира Гидро	Нитрат магния	Кемира Супер	Нитрат калия	Кальциевая селитра	Кемира Универсал
Азот	N	14,0	6,4	9,4	11,0	13,8	15,5	10,0
Фосфор	P	11,0	11,0	–	24,0 (P_2O_5)	–	–	20,0
Калий	K	25,0	31,0	–	24,0 (K_2O)	46 (K_2O)	–	11,0
Сера	S	1,8	4,0	–	6,0	–	–	2,5
Магний	Mg	1,4	2,7	8,1	–	–	–	1,0
Железо	Fe	0,1	0,1	–	0,5	–	–	0,1
Бор	B	0,02	0,02	–	0,08	–	–	0,15
Медь	Cu	0,01	0,01	–	1,0	–	–	0,1
Марганец	Mn	0,1	0,1	–	0,4	–	–	0,7
Цинк	Zn	0,01	0,01	–	0,2	–	–	0,1
Молибден	Mo	0,002	0,002	–	0,1	–	–	0,01
Кобальт	Co	0,001	0,001	–	–	–	–	–
Йод	I	0,001	0,001	–	–	–	–	–
Хром	Cr	0,001	0,001	–	–	–	–	–
Селен	Se	–	–	–	–	–	–	0,0006
Кальций	Ca	–	–	–	–	–	19,0	–

Для капельного орошения целесообразно применять комплексные сбалансированные удобрения, содержащие наряду с макроэлементами и комплекс микроэлементов в форме легкоусвояемых хелатов.

Таблица 8.37. **Характеристика удобрений PG Mix**

Элемент питания	Формула	PG Mix 14+16+18	PG Mix 12+14+24	PG Mix 15+10+20
1	2	3	4	5
Азот	N	14,0	12,0	15,0
	NH_4	8,5	5,0	6,5
	NO_3	5,5	7,0	8,5
Фосфор	Общий P_2O_5	16,0	14,0	10,1
	Водорастворимый P_2O_5	15,2	13,3	9,5

Окончание табл. 8.37

1	2	3	4	5
Калий	K_2O	18,0	24,0	20,0
Магний	MgO	0,8	2,0	3,8
Микроэлементы	B	0,03	0,03	0,03
	Cu	0,15	0,15	0,15
	Mn	0,16	0,16	0,16
	Mo	0,20	0,20	0,20
	Общее Fe	0,09	0,09	0,09
	Водорастворимое Fe	0,09	0,09	0,09
	Zn	0,04	0,04	0,04

При выращивании овощных культур в защищенном грунте стоит задача получить в связи с высокими затратами высокий урожай при высоком качестве продукции.

Для снижения накопления нитратов в продукции важно поддерживать оптимальную относительную влажность воздуха. Оптимальная относительная влажность воздуха для огурца 70–80 %, для томата и зеленных культур – 60–75 %. Влажность грунта не должна опускаться ниже предельного уровня (60 % НВ). Большое значение для меньшего накопления нитратов в овощах имеет улучшение условий освещенности (чистая кровля, мульчирование поверхности гряд светоотражающими материалами, соблюдение норм высева и посадки, своевременное формирование растений для обеспечения полной работоспособности растений). Обязательным агротехническим приемом должна быть подкормка CO_2. Уровень оптимальных концентраций CO_2 не должен превышать 0,15–0,18 %. Подкормки углекислотой лучше проводить утром (на 100 $м^2$ посадок 2–2,5 кг пищевой углекислоты).

Температурный режим в теплицах рекомендуется поддерживать в строго определенных границах для конкретных овощных культур. Повышение температуры воздуха (особенно перегревы в апреле-мае) вызывает значительное увеличение нитратов в продукции.

Снижению содержания вредных веществ в овощной продукции способствует совместное внесение минеральных и органических удобрений.

9. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА КАЧЕСТВО УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Качеством продукции называют совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Так, лен-долгунец оценивают по выходу длинного волокна, сахарную свеклу – по содержанию сахара, картофель – крахмала, рапс – масла и т. д.

В настоящее время качество должно включать также анализ на безопасность продукции растениеводства, так как кроме основных органических соединений, представляющих огромную питательную ценность (белков, жиров, углеводов, витаминов и др.), растение может содержать нежелательные соединения и включения (нитраты, тяжелые металлы, радионуклиды и т. д.). Под биологическим качеством растений подразумевается сумма показателей их химического и биохимического состава, обусловливающих нормальный обмен веществ у животных и человека, поедающих растительную пищу. Правильное применение удобрений должно улучшать или, по крайней мере, не ухудшать биологическое качество растениеводческой продукции при увеличении урожайности до возможных пределов.

Так как сельское хозяйство производит в основном продукты питания для человека, высокое качество его продукции – важнейшая задача агрохимии. В зависимости от условий выращивания содержание белка в пшенице может колебаться от 9 до 25 %, крахмала в картофеле – от 10 до 24, сахара в сахарной свекле – от 12 до 22 %, количество жира в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах может изменяться в 1,5–2 раза. Условия внешней среды (температура, влажность почвы и воздуха, свет, почвенные условия и др.) влияют на интенсивность протекающих в растениях процессов.

Наиболее сильное влияние на качество растениеводческой продукции оказывают разнонаправленные процессы – биосинтез белков и других азотистых соединений и биосинтез углеводов или жиров. При усилении биосинтеза белков уменьшается синтез углеводов или жиров, и наоборот.

С помощью удобрений можно изменять направленность процессов обмена веществ и регулировать накопление в растениях полезных для человека веществ – белков, крахмала, сахаров, жиров, витаминов и др. О влиянии основных элементов питания на биохимические процессы,

протекающие в растениях, уже рассказывалось раннее. Остановимся на роли основных видов удобрений в регулировании качества растениеводческой продукции.

Азот входит в состав всех простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ в организме. Он содержится также в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. В начальный период роста растения потребляют сравнительно небольшое количество азота, однако недостаток его в этот период отрицательно сказывается на дальнейшем росте растений. Наиболее интенсивно растения поглощают азот из почвы для синтеза аминокислот и белков в период максимального роста и образования вегетативных органов. На качество растениеводческой продукции влияют формы азота, используемые растениями. При аммиачном питании обмен веществ смещается в сторону накопления большего количества восстановленных соединений (эфирных масел, алкалоидов), а при нитратном источнике азота усиливается образование окисленных соединений, главным образом органических кислот.

Фосфор участвует в синтезе и распаде сахарозы, крахмала, белков, жиров и многих других соединений, он входит в состав органических веществ растений, таких, как фитин, лецитин, сахарофосфаты. Под влиянием фосфорных удобрений возрастает интенсивность синтеза сахарозы, крахмала, жиров, несколько меньше – белков. Для качества продукции важно не только абсолютное количество фосфора, но и его соотношение с другими элементами питания, в первую очередь с азотом. Изменяя соотношение N:P, можно регулировать интенсивность, а также направленность процессов обмена, способствуя накоплению в растениях белков или углеводов.

Под влиянием **калия** усиливается накопление крахмала, сахарозы и жиров. Калий усиливает синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлоза, гемицеллюлоза, пектиновые вещества), в результате чего утолщаются клеточные стенки стебля злаковых культур и повышается устойчивость их к полеганию, у льна улучшается качество волокна. У некоторых растений калий усиливает синтез таких витаминов, как тиамин и рибофлавин. При аммиачном питании растений калий может способствовать синтезу белков.

Одна из важнейших качественных характеристик сельскохозяйственной продукции – содержание белка. Недостаток белка (суточная потребность человека 70–100 г) приводит к нарушению обмена ве-

ществ, расстройству нервной системы, снижается резистентность организма. При кормлении скота по рационам, не сбалансированным по белку, понижается продуктивность животных, перерасходуются корма.

Основным источником растительного белка в наших климатических условиях являются зерновые колосовые и зернобобовые культуры.

При внесении азотных удобрений содержание белка в зерне озимой пшеницы в исследованиях Института почвоведения и агрохимии возрастало на 4,3 %, в ячмене – на 2,3 %, в опытах БелНИИЗК в зерне озимой ржи оно увеличивалось на 1,4–2,5 %.

Имеются данные, что на содержание белка в *зерне озимых и яровых зерновых* культур существенное влияние оказывают подкормки растений азотом в период начала колошения растений. Азот, поступающий в растения в эту фазу, используется в основном для образования семян, в результате чего содержание азота в них повышается и синтез белков происходит более интенсивно. При оптимальных условиях минерального питания среднее содержание белка в почвенно-климатических условиях республики составляет в зерне озимой пшеницы 12,5–13 %, озимой ржи – 9–10, ячменя – 10–13, овса – 10–11,5 %.

Важное значение для характеристики качества зерна имеет *аминокислотный состав белка*. Многие аминокислоты синтезируются в организме человека и животных, но восемь из 20 известных аминокислот являются для человека *незаменимыми* (не могут синтезироваться в его организме) и должны поступать с пищей. Это *триптофан* (суточная потребность человека 1,1 г), *фенилаланин* (4,4 г), *метионин* (3,8 г), *лизин* (5,2 г), *валин* (3,8 г), *треонин* (3,5 г), *изолейцин* (3,3 г), *лейцин* (9,1 г). Недостаток в пище такой аминокислоты, как лизин, вызывает тошноту, головную боль, головокружение, повышает чувствительность к шуму. Отсутствие или недостаток метионина нарушает нормальную деятельность печени, некоторых желез внутренней секреции. Метионин препятствует развитию атеросклероза. При недостатке триптофана ухудшается аппетит.

Белки различных культур существенно различаются по аминокислотному составу. Например, в белке зерновых злаков меньше содержится лизина и триптофана, в белке семян бобовых культур недостаточно метионина, картофеля – валина.

Биосинтез индивидуальных, специфичных для организма белков определяется генетическими факторами. Однако при изменении содержания белка под влиянием внешних факторов меняется и соотношение между различными его фракциями. Азотные удобрения, увели-

чивая общее содержание белка в зерне, изменяют состав белкового комплекса за счет увеличения содержания глиадина и глютелина и снижения альбуминов и глобулинов, вследствие чего изменяется и аминокислотный состав белка. Под влиянием азотных удобрений в дозах $N_{60–120}$ содержание белка в зерне ячменя, по данным «Института почвоведения и агрохимии», возрастало на 0,6–2,3 % (табл. 9.1).

Таблица 9.1. **Влияние азотных удобрений и микроэлементов на качество белка ячменя**

Варианты опытов	Урожайность, ц/га	Содержание белка, %	Коэффициент эффективности белка (КЭБ)	Фактическая белковистость, %
Последействие 60 т/га навоза – фон	52,9	7,9	1,53	7,9
$N_{60}P_{70}K_{120}$	77,2	8,5	1,47	8,2
$N_{90}P_{70}K_{120}$	76,9	9,5	1,48	9,2
$N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (I узел)	73,7	10,2	1,33	8,9
$N_{90}P_{70}K_{120} + ZnSO_4$, 300 г/га	74,3	9,2	1,74	10,5

В исследованиях Института почвоведения и агрохимии 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 %, ячменя ($N_{60–150}$) – на 2,6–6,4 мг/кг, или на 9–22 %.

Ценным источником растительного белка являются *зернобобовые культуры*, которые содержат азотистых веществ больше и лучшего качества, чем злаковые. Так как бобовые культуры фиксируют атмосферный азот, качество их продукции можно регулировать, варьируя дозы фосфорных и калийных удобрений (азот можно вносить в небольших дозах – 15–30 кг/га – для ускорения образования клубеньков в начале роста растений), а также внесением микроэлементов, в первую очередь молибдена. Молибден улучшает азотное питание растений, увеличивает потребление фосфора, калия и кальция из удобрений и почвы.

Влияние *фосфорных удобрений* на качество зерна неоднозначно. Большинство исследователей считают, что несбалансированное применение фосфорных удобрений снижает содержание белка. Однако есть также данные о положительном влиянии фосфорных удобрений на качество зерна, в основном на почвах с низким содержанием подвижного фосфора и высокими запасами минерального азота (И. М. Коданев, В. Г. Минеев, А. И. Павлов). По мнению В. Г. Минее-

ва и А. И. Павлова, наиболее вероятной причиной снижения содержания белка в зерне под влиянием фосфорных удобрений является усиление роста растений и увеличение урожая, что приводит к недостатку азота и как бы «разбавлению» его в растении. Более того, от высоких доз фосфорных удобрений может снижаться потребление растениями азота. Поэтому для увеличения белка в растениях необходимо сбалансированное азотно-фосфорно-калийное питание.

Результаты исследований по влиянию калия на содержание белка в зерне довольно противоречивы. Обобщение данных полевых опытов позволяет сделать вывод, что на характер воздействия калийных удобрений на содержание белка в зерне оказывают влияние гранулометрический состав почвы, степень кислотности, запас подвижных форм калия, фосфора и азота. Положительное влияние калийных удобрений на содержание белка чаще проявляется на почвах с низким содержанием калия, а также при благоприятном соотношении с азотными удобрениями.

В большинстве исследований, проведенных в различных почвенно-климатических условиях, применение *азотных удобрений снижало содержание крахмала*. По мнению одних авторов, это связано с неполной физиологической зрелостью клубней (В. А. Сухоиванов), другие (А. С. Вечер, М. Н. Гончарик) называют в качестве причины увеличение крупных клубней в урожае, которые содержат меньше крахмала, чем клубни средней величины.

Фосфорные удобрения чаще положительно влияют на накопление крахмала в картофеле. В опытах Ю. И. Касицкого и Л. П. Детковской при внесении 60–90 кг/га фосфорных удобрений на азотно-калийном фоне содержание крахмала повышалось на 0,2–0,8 %. Сильнее на крахмалистость клубней влияют калийные удобрения, так как при недостатке калия замедляется превращение углеводов в крахмал. Однако многое зависит от формы калийных удобрений. Хлорсодержащие их формы снижают содержание крахмала, поэтому под картофель лучше использовать бесхлорные формы калийных удобрений, а содержащие хлор следует вносить осенью. В исследованиях Института почвоведения и агрохимии замена хлористого калия сернокислым при прочих равных условиях увеличивала содержание крахмала в клубнях картофеля сорта Орбита на 0,6 % при одинаковом влиянии на урожайность.

Важной качественной характеристикой картофеля, овощных и кормовых культур является **содержание нитратов**. Азот, поступающий в растения в нитратной форме, восстанавливается до аммиака и при до-

статочном количестве углеводов участвует в образовании первичных аминокислот – аспарагиновой и глутаминовой. Невосстановленная часть нитратного азота может откладываться в клубнях, корнеплодах, листовых черешках и т. д. Накоплению нитратов способствуют избыточные дозы азотных удобрений, поздние сроки их применения, несбалансированное минеральное питание, а также метеорологические условия – недостаточная освещенность и низкая влажность почвы. Следовательно, накоплению нитратов препятствуют: оптимизация азотного питания растений, сбалансированное соотношение между азотом, фосфором и калием и достаточная обеспеченность растений микроэлементами, в первую очередь бором и молибденом, которые улучшают углеводный и белковый обмен.

Технологические свойства пшеницы зависят от содержания белка и еще в большей мере от физико-химических свойств клейковины белков. Способность белков пшеницы образовывать клейковину явилось причиной того, что пшеница заняла главное место среди злаков в питании человека. В исследованиях кафедры агрохимии максимальное накопление клейковины в зерне озимой пшеницы (31,9 %) отмечено при комплексном применении дробного внесения азотных удобрений с медью и фунгицидом на фоне фосфорных и калийных удобрений. Достаточно высокое содержание клейковины (31,1 %) отмечено в варианте с применением $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Витамаром З + Рекс Т (табл. 9.2).

Таблица 9.2. **Влияние раздельного и совместного применения средств химизации на качество зерна озимой пшеницы (среднее за 3 года)**

Варианты	Сырой белок, %	Выход сырого белка, ц/га	Сырая клейковина, %	Масса 1000 зерен, г
1	2	3	4	5
1. Без удобрений	9,8	2,2	21,5	40,2
2. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{20} КАС	12,6	6,0	27,8	45,2
3. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Cu + Рекс Т	13,8	7,4	29,3	48,6
4. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС с Cu + Рекс Т	14,0	7,5	29,7	48,7
5. $N_{19}P_{70}K_{100}$ + N_{50} + N_{30} КАС + Витамар З + Рекс Т	14,2	7,8	30,5	48,8

Окончание табл. 9.2

1	2	3	4	5
6. $N_{19}P_{70}K_{100} + N_{50} + N_{30}$ КАС с Витамаром З + Рекс Т	14,4	8,0	31,1	49,1
7. $N_{19}P_{70}K_{100} + N_{50} + N_{30}$ КАС с Cu + Рекс Т + N_{15} КАС (фаза колошения)	14,7	8,4	31,9	48,5
8. $N_{19}P_{70}K_{100} + N_{50} + N_{30}$ КАС + Cu с Рекс Т	14,0	7,9	29,5	48,5
9. $N_{19}P_{70}K_{100} + N_{50} + N_{30}$ КАС + Эпин	14,0	7,7	30,1	46,8
10. $N_{19}P_{70}K_{100} + N_{50} + N_{30}$ КАС + Рекс Т с Эпином	14,0	7,9	29,5	48,1
$НСР_{05}$	0,6		1,6	0,9

В опытах кафедры агрохимии УО БГСХА на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с озимой пшеницей установлено, что максимальное содержание сырого белка в зерне (13,3–13,5 %) и сырой клейковины (30,6–31,1) отмечено при применении медных удобрений с регуляторами роста МикроСил Медь и МикроСтим Медь на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}+ N_{40}$ (табл. 9.3).

Таблица 9.3. **Влияние макро- и микроудобрений на качество озимой пшеницы сорта Богатко в среднем за 2012–2014 гг.**

Варианты	Средняя урожайность, ц/га	Сырой белок, %	Сырая клейковина, %
1. Без удобрений (контроль)	29,1	11,6	19,4
2. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70}$	43,2	12,3	22,2
3. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}$	52,1	12,9	24,8
4. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}+ N_{40}$ – фон	60,2	12,7	28,7
5. Фон + МикроСил Медь Л	71,3	13,5	31,1
6. Фон + МикроСтим Медь Л	70,4	13,3	30,6
7. $N_{20}P_{64}K_{140}$ (АФК с Cu и Mn) + $N_{70} + N_{40}+ N_{40}$	65,1	12,9	29,9
$НСР_{05}$	2,1	0,4	0,8

Содержанием сахаров определяется техническая ценность сахарной свеклы и питательная многих овощных культур. На содержание сахаров и другие показатели качества этих культур влияют виды, дозы, сроки и способы внесения удобрений. В опытах Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси установлено негативное влияние высоких доз азотных удобрений на сахаристость и технологические качества сахарной свеклы. Максимальные дозы азотных удобрений не должны превышать 130–150 кг/га. Избыточное азотное питание приводит к накоплению альфа-аминного азота в корнеплодах и снижению чистоты клеточного сока, что в результате уменьшает выход сахара.

Влияние фосфорных удобрений на урожайность и сахаристость в значительной степени зависит от содержания в почве подвижных форм фосфора: если оно невысоко, фосфорные удобрения оказывают положительное действие. По обобщенным данным, при оптимальных дозах фосфорные удобрения повышают сахаристость корнеплодов сахарной свеклы на 0,6–1,3 %, калийные – на 0,3–1,4 и борные – 0,3 %.

Основной источник растительных жиров – масличные культуры (рапс, горчица, подсолнечник). На повышение масличности семян существенное влияние оказывают фосфорные и калийные удобрения. Внесение этих удобрений может повысить содержание жира в семенах на 2–4 %. Качество масла тем выше, чем больше оно содержит ненасыщенных жирных кислот. Под действием азотных удобрений количество ненасыщенных жирных кислот уменьшается, а фосфорных и калийных увеличивается.

10. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

10.1. Основные направления деятельности и структура агрохимической службы Республики Беларусь

Основной задачей Государственной агрохимической службы Республики Беларусь является периодический контроль за состоянием агрохимических показателей плодородия почв и проведение комплекса мероприятий по их улучшению.

В настоящее время деятельность агрохимической службы осуществляется по двум 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 удобрений (за счет госбюджета страны), органических и минеральных удобрений, средств химической защиты растений (по договорам с хозяйствами).

В настоящее время весь комплекс агрохимических мероприятий, проводимых в хозяйствах Республики Беларусь, проводится областными проектно-изыскательскими станциями по химизации сельского хозяйства под руководством Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, областных и комитетов по сельскому хозяйству и продовольствию.

Научно-методическое руководство агрохимической службой осуществляет Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси. Министерству сельского хозяйства и продовольствия непосредственно подчинено ГУ «Государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений».

Основной задачей агрохимической службы Республики Беларусь является периодический контроль за состоянием агрохимических показателей плодородия почв сельскохозяйственных земель и проведение комплекса мероприятий по их улучшению. Структура агрохимической службы Республики Беларусь представлена на рис. 10.1.

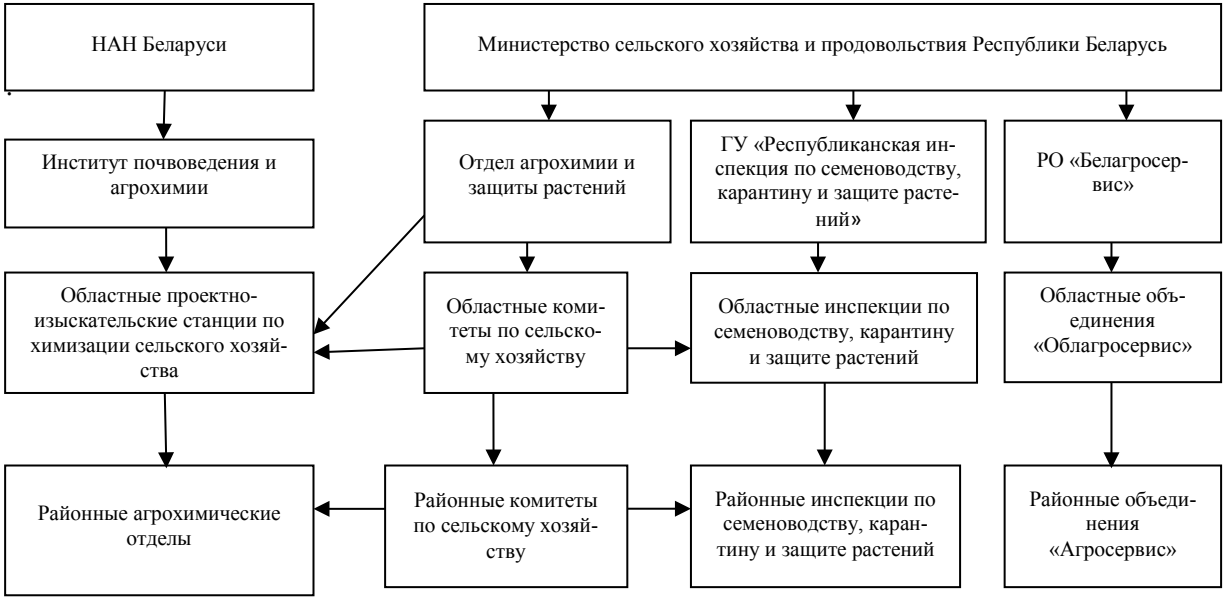

Рис. 10.1. Структура агрохимической службы Республики Беларусь

Областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства проводят крупномасштабное агорохимическое обследование почв, по методикам и инструкциям Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси разрабатывают проектно-сметную документацию на известкование кислых почв, планы применения удобрений под сельскохозяйственные культуры по полям и отдельно удобряемым участкам.

Крупномасштабное агрохимическое 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 цезием-137, стронцием-90.

Данные обследования на уровне элементарных участков накапливаются в банке данных агрохимических свойств почв Республики Беларусь, методика формировния которого была разработана Институтом почвоведения и агрохимии в 1980 г., а программное обеспечение – Институтом системных исследований в АПК. Данные по агрохимическим показателям ежегодно обновляются по вновь обследованным районам. Результаты исследований используются для разработки проектно-сметной документации на проведение известкования 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 защиты их от деградаций.

ГУ «Республиканская инспекция по семеноводству, карантину и защите растений», наряду с другими задачами, организовывает работу по проверке эффективности применения новых форм средств химической защиты растений, их государственную регистрацию и включение в Государственный реестр химикатов, разрешенных для примененяи на территории Республики Беларусь.

Республиканские, областные и районные объединения «Белагросервис» имеют на своем балансе складские помещения для хранения твердых минеральных удобрений и емкости для хранения жидких минеральных удобрений и специализированные механизированные отряды, в связи с чем оказывают услуги хозяйствам республики по приобретению и хранению минеральных удобрений, внесению их в почву, внесению известковых материалов в соответствии с проектно-сметной документацией.

11. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

Источниками радиоактивного загрязнения природной среды и сельскохозяйственных угодий в мирное время являются аварии на ядерных реакторах, а также утечки радиоактивных отходов при нарушении условий их хранения. По оценкам специалистов, в результате катастрофы на четвертом блоке Чернобыльской АЭС было выброшено не менее 180 Ки радиоактивных веществ, две трети которых выпало на территорию Республики Беларусь. Радиоактивному загрязнению подверглись 45,6 тыс. км^2, или 23 % территории республики, в том числе более 1,856 млн. га сельхозугодий. В первый год после аварии из землепользования было выведено 106 тыс. га, всего за 1986–1989 гг. из оборота было исключено 265,4 тыс. га сельхозугодий. В связи с превышением предельных дозовых нагрузок на население и трудностью получения сельскохозяйственной продукции с допустимым уровнем загрязнения радионуклидами выведены из оборота преимущественно земли с плотностью загрязнения цезием-137 свыше 1486 кБк/м^2 (40 Ки/км^2), стронцием-90 свыше 111 кБк/м^2 (3 Ки/км^2), плутонием свыше 3,7 кБк/м^2 (0,1 Ки/км^2). Исключены из сельскохозяйственного использования также значительные площади земель, прилегающих к выселенным населенным пунктам с меньшей плотностью загрязнения.

В настоящее время сельское хозяйство ведется на 1,027 млн. га земель, загрязненных радионуклидами цезия-137 с плотностью загрязнения 37–1480 кБк/м^2, или от 1 до 40 Ки/км^2, из них 0,596 млн. га – пахотные земли, 0,431 млн. га – луговые земли (см. табл. 8.1).

Радиоактивное загрязнение после чернобыльской катастрофы распространилось на все области Республики Беларусь, но наиболее пострадали Гомельская и Могилевская области (табл. 11.1).

Таблица 11.1. **Плотность загрязнения сельскохозяйственных земель радионуклидами цезия-137**

Область, республика	Площадь загрязненных земель, тыс. га	Всего загрязнено >1 Ки/км^2		По зонам загрязнения тыс. га, Ки/км^2		
		тыс. га	%	1–4,9	5,0–14,9	15,0– 9,9
1	2	3	4	5	6	7
Сельскохозяйственные земли						
Брестская	1214,4	74,6	6,1	71,2	3,4	–
Витебская	1315,1	0,3	0,02	0,3	–	–
Гомельская	1228,7	586,7	47,8	430,6	134,4	21,7

1	2	3	4	5	6	7
Гродненская	1100,9	28,4	2,6	28,4	–	–
Минская	1621,1	58,0	3,6	57,0	1,0	–
Могилевская	1154,2	272,2	23,6	204,2	60,4	7,6
Республика Беларусь	7634,40	1020,2	13,4	793,7	198,9	27,6
Пахотные земли						
Брестская	679,3	33,6	5,2	32,7	0,8	–
Витебская	768,0	0,3	0,04	0,3	–	–
Гомельская	701,9	357,8	51,0	259,4	86,2	12,2
Гродненская	718,9	16,3	2,3	16,3	–	–
Минская	1101,9	33,9	3,1	33,5	0,4	–
Могилевская	726,1	159,7	22,0	122,2	34,3	3,2
Республика Беларусь	4696,1	601,6	12,8	465,0	121,7	15,4
Луговые земли						
Брестская	535,1	41,0	7,7	38,4	2,6	–
Витебская	547,1	–	–	–	–	–
Гомельская	526,8	228,9	43,5	172,6	48,1	8,1
Гродненская	382,0	12,1	3,2	12,1	–	–
Минская	519,2	24,1	4,6	23,4	0,7	–
Могилевская	428,1	112,5	26,3	81,9	26,3	4,3
Республика Беларусь	2938,3	418,6	14,2	328,4	77,9	12,1

11.1. Поведение радионуклидов в почвах и поступление их в растения

У более двух третей изотопов, выброшенных из реактора на ЧАЭС, период полураспада менее одного дня, в настоящее время они не представляют опасности. С течением времени в смеси продуктов деления начинают преобладать долгоживущие радионуклиды. Наибольшую опасность представляют стронций-90 и цезий-137. У стронция период полураспада 28, у цезия – 30 лет.

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.

80–90 % долгоживущих радионуклидов сосредоточены в зоне расположения основной массы корней сельскохозяйственных культур и

будут доступны растениям еще долгое время. Возможно вторичное загрязнение угодий из-за горизонтальной миграции радионуклидов и в результате ветровой и водной эрозии.

Основные массивы загрязненных цезием-137 почв сосредоточены в Гомельской (56,9 %) и Могилевской областях (26,6 %). В Брестской, Минской и Гродненской областях их доля от общей площади используемых земель составляет 7,7, 5,5 и 3,2 %. Кроме того, на площади 0,34 млн. га почвы одновременно загрязнены радионуклидами стронция-90 с плотностью более 5,5 кБк/м^2 (табл. 11.2).

Таблица 11.2. **Плотность загрязнения сельскохозяйственных земель стронцием-90**

Область, республика	Площадь загрязненных земель, тыс. га	Всего загрязнено > 0,15 Ки/км^2		По зонам загрязнения тыс. га, Ки/км^2		
		тыс. га	%	0,15–0,30	0,31–1,00	1,01–2,99
Сельскохозяйственные земли						
Брестская	1214,4	1,2	0,1	1,2	–	–
Гомельская	1228,7	331,0	26,9	181,1	126,1	23,8
Могилевская	1154,2	15,7	1,4	15,3	0,4	–
Республика Беларусь	7634,4	347,9	4,6	197,6	126,6	23,7
Пахотные земли						
Брестская	679,3	0,4	0,1	0,4	–	–
Гомельская	701,9	190,8	27,2	108,8	68,1	13,9
Могилевская	726,1	8,4	1,2	8,3	0,1	–
Республика Беларусь	4696,1	199,6	4,3	177,6	68,0	14,0
Луговые земли						
Брестская	535,1	0,8	0,1	0,8	–	–
Гомельская	526,8	140,2	26,6	72,3	58,2	9,7
Могилевская	428,1	7,3	1,7	7,0	0,3	–
Республика Беларусь	2938,3	148,3	5,0	80,4	58,4	9,5

Для организации сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях большое значение имеют не только плотность загрязнения, но и **формы радионуклидов, степень их подвижности и доступности**. Долгоживущие радионуклиды цезий-137 и стронций-90 по-разному сорбируются почвами. Стронций-90 в основном закрепляется в почве по типу ионного обмена, цезий-137 более прочно фиксируется твердой фракцией почвы по типу необменной формы в кристаллических решетках почвенных минералов.

Наиболее доступен растениям стронций-90, который в большинстве автоморфных почв представлен обменными формами (60–90 %). Доля фиксированных форм стронция-90 невелика и имеет тенденцию к снижению. Особенно высокая подвижность стронция-90 в кислых дерново-подзолистых глеевых песчаных почвах. Почвы с высоким содержанием гумуса (глеевые, перегнойно-глеевые, дерново-глеевые и торфяно-болотные) связывают радиостронций достаточно прочно. Хотя обменные формы стронция достигают 80 % общего его количества, десорбция его происходит очень медленно, что свидетельствует о нахождении стронция-90 в прочносвязанной потенциально доступной форме. Чем выше содержание гумуса в почве, тем прочнее связан в ней радиостронций. Поэтому при известковании загрязненных почв и внесении высоких доз органических удобрений снижается поступление радиостронция в растения.

За период, прошедший после аварии, количество прочносвязанного цезия-137 в основных типах почв значительно увеличилось. В дерново-подзолистых суглинистых почвах с высоким содержанием глинистых минералов за 20-летний период после аварии на Чернобыльской АЭС доля доступных для растений форм цезия-137 значительно уменьшилось и не превышает 5 %. В дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах доля доступных форм цезия-137 лежит в пределах 10–20 %. **Гранулометрический состав** почвы влияет на прочность закрепления радионуклидов. В тяжелых почвах поглощенные радионуклиды, особенно цезий-137, закрепляются сильнее, чем в легких. С уменьшением размеров фракций почвы прочность закрепления стронция-90 и цезия-137 повышается. Наиболее прочно радионуклиды закрепляются илистой фракцией.

Стронция-90 в растения поступает, как правило, примерно в 10 раз больше, чем цезия-137. Только на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных радиоцезия поступает в растения больше, чем стронция-90. На поступление радионуклидов в растения большое влияние оказывает **уровень плодородия почвы.** Так, с увеличением содержания гумуса в супесчаной почве с 1–1,5 до 2,1–3,0 % цезия-137 в многолетние злаковые травы поступает в 1,3 раза меньше, а стронция-90 – в 1,2 раза. При увеличении содержания в почве подвижного калия с 50–80 до 141–200 мг/кг переход цезия-137 и стронция-90 в многолетние злаковые травы снижается в 1,8 раза.

На поступление радионуклидов в растения большое влияние оказывают **гранулометрический состав** и **водный режим почв.** На песчаных почвах многолетние травы поглощали их в 1,4 раза, зернобобовые культуры – в 2 раза, озимая рожь, ячмень и овес – в 3 раза больше по сравнению с посевами этих культур на суглинках. Переход радиоцезия в многолетние травы в 10–27 раз выше на дерново-глеевых и дерново-подзолисто-глеевых почвах по сравнению с автоморфными разновидностями этих почв.

На накопление радионуклидов в растениеводческой продукции влияют продолжительность вегетационного периода, видовые и сортовые особенности питания и другие биологические особенности растений. Различия в накоплении цезия-137 растениями разных видов (в расчете на сухое вещество) могут достигать 20–180 раз, стронция-90 – до 30 раз. Озимые зерновые культуры (рожь, пшеница), как правило, накапливают стронция-90 и цезия-137 в 2–2,5 раза меньше, чем яровые (пшеница, овес, ячмень). Поэтому увеличение посевов озимых культур и сокращение яровых в известной мере может снизить уровень загрязнения растениеводческой продукции. Поздние сорта обычно накапливают радионуклидов в 1,5–2 раза меньше, чем ранние.

Бобовые культуры сильнее накапливают стронций-90. Из овощных больше всего стронция-90 накапливают корнеплоды столовой свеклы и моркови, меньше всего его содержат плоды томатов и клубни картофеля, что объясняется разной концентрацией кальция в этих частях растений. Накопление цезия-137 и стронция-90 может различаться в 1,5–3 раза в зависимости от сорта одной и той же культуры. Поздние сорта, как отмечалось, меньше накапливают радионуклидов.

Как отмечалось, скорость миграции радионуклидов цезия и стронция в почве невелика и ожидать в ближайшее время «самоочищения» загрязненных почв нет оснований. Задачей земледелия на загрязненных территориях является получение продукции с содержанием радионуклидов в безопасных для здоровья человека количествах. Предельные уровни содержания радионуклидов в растениеводческой продукции приведены в табл. 11.3.

Для прогнозирования возможной степени загрязнения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на почвах, содержащих радионуклиды, разработаны **коэффициенты пропорциональности**, определяемые как отношение между уровнем загрязнения почвы и растений. Такие коэффициенты помогают рационально размещать культуры по полям, с тем чтобы получать растениеводческую продукцию с минимально возможным уровнем содержания радионуклидов.

Таблица 11.3. **Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах**

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко для переработки:		
на сливочное масло	370	18
цельномолочные продукты, сыры, творог	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

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	^{137}Cs			^{90}Sr	
	Молоко цельное	Молоко сырье	Мясо (заключительный откорм КРС)	Молоко цельное	Молоко сырье
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, фураж	180	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда	900	–	–	–	–
Мезга, молочные продукты, обрат	600	–	–	–	–
Дрожжи кормовые	370	–	–	–	–
Мясокостная мука	900	–	–	–	–
Прочие виды кормов	900	–	–	–	–

При возделывании сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами территориях используются агромелиоративные мероприятия, направленные на снижение поступления радионуклидов в растения.

11.2. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию

Прежде всего, на загрязненных территориях должны выращиваться культуры, накапливающие радионуклидов меньше, чем другие. Меньше радионуклидов накапливают растения с более низким содержанием кальция и калия.

По количеству накапливаемого цезия-137 на единицу сухого вещества сельскохозяйственные культуры располагаются (по убывающей) в следующей последовательности: разнотравье естественных сенокосов и пастбищ, люпин; многолетние злаковые травы, клевер, рапс, горох, зеленая масса кукурузы, солома овса; однолетние злаково-бобовые смеси, картофель, зерно овса, солома ячменя, зерно озимой ржи, зерно ячменя.

По содержанию стронция-90 в сухом веществе сельскохозяйственные культуры располагаются в аналогичной последовательности так: клевер, горох, рапс, люпин; однолетние злаково-бобовые смеси; разнотравье естественных сенокосов и пастбищ; многолетние злаковые травы, солома ячменя, солома овса, зеленая масса кукурузы и озимой ржи, солома озимой ржи, кормовая свекла, зерно ячменя, овса, озимой ржи, клубни картофеля.

Как показали исследования, на всех загрязненных территориях, где допускается проживание людей и ведение сельскохозяйственного производства (плотность загрязнения радиоцезием до 185 кБк/м^2, стронцием-90 – 12,3 кБк/м^2), используя рекомендуемые агроприемы, можно получать основную продукцию зерновых культур и картофеля с содержанием радионуклидов в пределах нормы (РДУ-92).

На дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава (песчаных и супесчаных), а также торфяных с плотностью загрязнения стронцием-90 более 0,3 Ки/км^2 картофель на пищевые цели возделывать не рекомендуется, но можно выращивать его на фураж, а также технический.

Кормовые корнеплоды, кукурузу на зеленый корм, выращенные на почвах с плотностью загрязнения стронцием-90 свыше 1 Ки/км^2, можно использовать на корм откармливаемому поголовью и не рекомендуется использовать для дойного стада. При загрязненности дерново-подзолистых почв цезием-137 на уровне 5–15 Ки/км^2 и стронцием-90 – 0,3–0,1 Ки/км^2 лучше высевать клеверо-злаковые травосмеси, требующие минимальных доз азота. Высев только злаковых травосмесей требует внесения повышенных доз азота, а это усиливает загрязнение растений цезием-137.

Садово-огородные культуры также в разной степени накапливают радионуклиды. В силу своих биологических особенностей наиболее «чистыми» являются картофель, огурцы, помидоры, редис и капуста,

затем столовая свекла и морковь. Интенсивнее других накапливают радионуклиды горох, фасоль, бобы, из зеленных культур – щавель.

Наиболее «чистыми» ягодными культурами являются земляника, крыжовник, малина. В большей мере загрязняются радионуклидами черная и красная смородина. Относительно мало радионуклидов накапливают семечковые и косточковые культуры (яблоки, груши, вишни, сливы и т. д.).

Существенно снизить поступление радионуклидов помогают следующие агрохимические мероприятия: известкование, внесение органических удобрений и сапропелей, повышенных доз фосфорных и калийных удобрений, минимизация доз азотных удобрений по данным почвенно-растительной диагностики. Если соотношение основных элементов питания будет нарушено в сторону увеличения азотного питания, это может привести к усиленному накоплению растениями цезия-137.

Система удобрения сельскохозяйственных культур в зоне радиационного загрязнения предусматривает также расчет оптимальных доз удобрений, обеспечивающих сбалансированное минеральное питание растений и, как следствие, увеличение урожайности. Тем самым происходит «разбавление» содержания радионуклидов на единицу массы урожая. Как отмечалось, поступление в растения стронция можно значительно снизить известкованием, усилив в почвенном растворе конкуренцию между ионами стронция и кальция, которые являются антагонистами. При нейтрализации кислотности в 1,5–3,0 раза снижается поступление стронция-90 и цезия-137 в растения. Особенно благоприятно известкование загрязненных почв сказывается при посеве кормовых трав и овощных культур. Дозы извести дифференцируются в зависимости от плотности загрязнения почв. Дозы известковых удобрений для известкования кислых почв, загрязненных радионуклидами, приведены в табл. 11.4.

Таблица 11.4. **Дозы известковых удобрений на загрязненных радионуклидами землях**

Почвы	pH в KCl	Доза $CaCO_3$ на незагрязненных землях, т/га	Доза $CaCO_3$ (т/га) при плотности загрязнения, Ки/км^2	
			^{137}Cs 1–5, ^{90}Sr 0,15–0,30	^{137}Cs > 5, ^{90}Sr > 0,3
1	2	3	4	5
Пахотные земли				
Дерново-подзолистые: суглинистые	<4,5	8,5	8,5	15,0
	4,6–5,0	7,5	7,5	13,0
	5,1–5,5	6,5	6,5	11,0
	5,6–6,0	4,5	4,5	7,0

1	2	3	4	5
супесчаные	<4,5	6,5	6,5	11,5
	4,6–5,0	5,5	5,5	9,5
	5,1–5,5	4,5	4,5	7,0
	5,6–6,0	–	3,0	4,0
песчаные	<4,5	5,5	5,5	8,5
	4,6–5,0	4,5	4,5	6,5
	5,1–5,5	3,5	3,5	4,5
торфяно-болотные	<4,0	12	19,0	19,0
	4,1–4,5	7,0	11,0	11,0
	4,6–5,0	4,0	6,0	6,0
Улучшенные луговые земли				
Дерново-подзолистые: суглинистые	<4,5	9,0	9,0	15,5
	4,6–5,0	8,0	8,0	13,5
	5,1–5,5	6,5	6,5	11,5
	5,6–6,0	4,5	4,5	7,5
супесчаные	<4,5	7,0	7,0	11,5
	4,6–5,0	6,0	6,0	10,0
	5,1–5,5	4,5	4,5	7,5
	5,6–6,0	–	3,5	5,0
песчаные	<4,5	6,0	6,0	9,0
	4,6–5,0	5,0	5,0	7,0
	5,1–5,5	4,0	4,0	5,0
торфяно-болотные	<4,0	12,0	19,0	19,0
	4,1–4,5	7,0	11,0	11,0
	4,6–5,0	4,0	6,5	6,5

При небольшой плотности загрязнения 1–5 Ки/км^2 по цезию-137 и 0,15–0,3 Ки/км^2 по стронцию-90 дозы извести увеличиваются только на торфяных почвах и дополнительно известкуются рыхлосупесчаные почвы с pH 5,51–5,71, связно-супесчаные – с pH 5,51–6,00.

При более высокой плотности загрязнения 5–40 Ки/км^2 по цезию-137 или 0,3–3,0 Ки/км^2 по стронцию-90 дозы известковых удобрений повышаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один прием. В случае, когда разовая доза превышает 8 т/га, известь вносится в два приема: 0,5 дозы под вспашку и 0,5 дозы под культивацию. На сенокосах и пастбищах известь вносится под предпосевную культивацию при перезалужении или коренном улучшении. Первоочередному известкованию подлежат почвы I и II групп кислотности в связи с высоким переходом радионуклидов из почвы в растение.

Работы по известкованию супесчаных почв с pH 5,51–6,0 и торфяных с pH 5,0 и ниже при плотности загрязнения земель по цезию-137 1–5 Ки/км^2 и 0,2–0,3 Ки/км^2 по стронцию-90, а также на всех кислых почвах с плотностью загрязнения 5–40 Ки/км^2 по цезию-137 или 0,3–3,0 Ки/км^2 по стронцию-90 финансируются за счет средств,

направляемых на преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

При внесении фосфорных удобрений происходит фиксация стронция фосфатами и снижается его поступление в растения. Поэтому на почвах с низким содержанием подвижных фосфатов дополнительно вносятся фосфорные удобрения. Дозы основного и дополнительного применения фосфорных удобрений дифференцируются по сельскохозяйственным угодьям, типам почв, содержанию фосфора в почве и плотности загрязнения цезием-137 и стронцием-90 (табл. 11.5).

Таблица 11.5. **Нормативы основной и дополнительной потребности в фосфорных удобрениях 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		
			Cs 1,0–4,9, Sr 0,15–0,29	Cs 5,0–14,9 Sr 0,30–0,99	Cs 15,0–40,0 Sr 1,00–3,00
Пахотные земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 60	45	15	30	45
	61–100	40	10	20	30
	101–150	35	5	10	15
	151–250	20	–	5	10
	251–400	10	–	–	–
Торфяные	Менее 200	60	20	40	60
	201–300	45	15	30	45
	301–500	30	10	20	30
	501–800	20	–	5	10
	800–1200	10	–	–	–
Улучшенные луговые земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 60	35	15	30	45
	61–100	30	10	20	30
	101–150	25	5	10	15
	151–250	10	–	5	10
	251–400	–	–	–	10
Торфяно-болотные	Менее 200	55	15	30	45
	201–300	40	10	20	30
	301–500	35	5	10	15
	501–800	20	–	5	10
	801–1200	–	–	–	–

Внесение калийных удобрений уменьшает поступление цезия-137 в растения примерно в два раза. Это объясняется тем, что калий и цезий являются катионами-антагонистами.

При плотности загрязнения 1–2 Ки/км^2 на пахотных минеральных почвах дополнительно вносят от 15 до 50 кг/га калийных удобрений (в зависимости от обеспеченности калием), на сенокосах и пастбищах – 15–40 кг/га, при плотности загрязнения от 5 до 15 Ки/км^2 соответственно от 30 до 100 кг/га на пашне и 30–80 – на кормовых угодьях,

при загрязнении от 15 до 40 Ки/км^2 – от 45 до 150 и от 45 до 120 кг/га (табл. 11.6).

Таблица 11.6. **Нормативы основной и дополнительной потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях**

Почвы	Содержание K_2O, мг/кг почвы	Основные дозы K_2O, кг/га	Дополнительные дозы K_2O (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/км^2		
			Cs 1,0–4,9 Sr 0,15–0,29	Cs 5,0–14,9 Sr 0,30–1,99	Cs 15,0–40,0 Sr 2,00–3,00
Пахотные земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 80	100	50	100	150
	81–140	90	30	60	90
	141–200	80	20	40	60
	201–300	55	15	30	45
	Более 300	25	–	–	–
Торфяные	Менее 200	140	40	80	120
	201–400	120	30	60	90
	401–600	100	20	40	60
	601–1000	60	10	20	30
	Более 1000	30	–	–	–
Луговые земли					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 80	80	40	80	120
	81–140	70	30	60	90
	141–200	60	20	40	60
	201–300	45	15	30	45
	Более 300	20	–	–	–
Торфяно-болотные	Менее 200	100	40	80	120
	201–400	90	30	60	90
	401–600	80	20	40	60
	601–1000	60	10	20	30
	Более 1000	30	–	–	–

Снижает поступление радионуклидов в растения внесение навоза, если он содержит меньше радионуклидов, чем почва, а также торфа и сапропелей. Наибольший эффект можно получить при правильном подборе культур, внесении дифференцированных доз доломитовой муки, сапропелей или навоза, калийных и фосфорных удобрений. Это позволяет снизить поступление радионуклидов в растениеводческую продукцию в 4–6 раз, а на заболоченных почвах в комплексе с регулированием водного режима и перезалужением – до 10 раз.

Высокие дозы азотных удобрений на загрязненных почвах, особенно при несбалансированном их соотношении с фосфорными и калийными, как отмечалось, повышают накопление радионуклидов в сельскохозяйственных культурах. Избыточное азотное питание растений повышает в 1,2–1,3 раза поступление радионуклидов в растения, поэтому дозы азотных удобрений должны быть оптимальными. Для зерновых культур они корректируются по данным почвенно-растительной диагностики.

12. ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Производство продукции растениеводства в земледелии связано с затратами невозобновляемой энергии, в том числе и за счет применения удобрений. Поэтому важно разрабатывать и использовать энергосберегающие технологии, при которых меньше затрачивается энергии на производство растениеводческой продукции. Это требует знаний по основам расчета энергетической эффективности применения удобрений в прогрессивных технологиях.

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:

$$q = \frac{Э_п}{Э_о},$$

где q – коэффициент энергетической эффективности;

$Э_п$ – количество энергии, полученной в прибавке основной продукции от удобрений, МДж;

$Э_о$ – 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 Республике Беларусь используется методика, разработанная в Институте почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь (И. М. Богдевич и др.).

Накапливаемая в основной и побочной продукции растениеводства энергия оценивается в джоулях. Содержание энергии в основной (хозяйственно ценной) продукции растениеводства с учетом побочной рассчитывается по формуле:

$$Э_п = П \cdot К \cdot 100,$$

где $Э_п$ – 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. 12.1), МДж;

100 – коэффициент пересчета ц в кг.

Таблица 12.1. **Содержание энергии в 1 кг растениеводческой продукции в натуре (по принятой условной стандартной влажности), МДж**

Культура	Энергия
1	2
Зерно	
Озимая:	
рожь	16,76
пшеница	16,46
Яровая пшеница	16,61
Ячмень	16,45
Овес	16,17
Гречиха	16,67
Люпин	18,04
Фасоль	16,37
Горох	17,69
Вика	16,34
Кукуруза	15,14
Солома	
Озимая пшеница	14,40
Озимая рожь	14,32
Ячмень	13,76
Овес	14,21
Горох	12,69
Люпин	15,84

1	2
Лен-долгунец:	
волокно	18,01
семена	21,27
Сахарная свекла (корнеплоды)	4,39
Кормовые корнеплоды	2,09
Картофель (клубни)	3,80
Кукуруза (зеленая масса)	4,10
Многолетние травы (зеленая масса)	3,67
Однолетние травы (зеленая масса)	2,76
Многолетние травы (сено)	15,46
Однолетние травы	15,50

Энергозатраты на минеральные удобрения под культуры, связанные с их производством, рассчитываются по формуле

$$Э_у = (Д_N \cdot Э_N) + (Д_Р \cdot Э_Р) + (Д_К \cdot Э_К)\ Мдж/га,$$

где $Д_N$, $Д_Р$, $Д_К$ – фактическая доза внесения соответственно азотных, фосфорных и калийных удобрений по д. в. кг/га;

$Э_N$, $Э_Р$, $Э_К$ – энергетические затраты на производство 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений (табл. 12.2), МДж/га.

Таблица 12.2. **Энергозатраты на производство удобрений (минеральные – на 1 кг д. в., органические и известковые – на 1 кг физической массы)**

Виды и формы удобрений	Содержание д. в., %	Энергетический эквивалент, МДж	
		действующего вещества	физической массы
1	2	3	4
Азотные	–	80,0	–
Фосфорные	–	13,8	–
Калийные	–	8,8	–
Органические (в среднем)	–	0,42	–
Торфонавозные компосты	–	1,70	–
Известковые удобрения (в среднем)	–	3,8	–
Доломитовая мука	–	3,6	–
Азотные			
Азот в сложных удобрениях	–	152,7	–
Сульфат аммония	20,5	80	16,4
Аммиачная селитра	34,5	80	27,6
Натриевая селитра	16,0	80	12,8
Кальциевая селитра	17,0	80	13,6
Мочевина	46,0	80	26,8
КАС	28,0	80	22,4

Окончание табл. 12.2

1	2	3	4
Аммиачная вода	20,5	80	16,4
Аммиак жидкий	82,0	80	65,0
Фосфорные			
Фосфор в сложных удобрениях	–	27,3	–
Суперфосфат простой гранулированный	20,0	13,8	2,8
Суперфосфат двойной	46,0	13,8	6,3
Суперфосфат аммонизированный	N_8P_{33}	51,5	21,1
Калийные			
Калий в сложных удобрениях	–	29,4	–
Хлористый калий	60	8,8	5,3
Калийная соль	40	8,8	3,5
Сульфат калия	48	8,8	4,2
Комплексные			
Нитрофоска	NPK по 12 %	51,5	18,5
Нитроаммофоска	NPK по 17 %	51,5	26,2
Азофоска	NPK по 16 %	51,5	24,7
Аммофосфат	N_7P_{47}	51,5	27,8
Аммофос	$N_{12}P_{50}$	51,5	31,9
АФК	$N_{10}P_{20}K_{20}$	51,5	25,8
АФК	$N_5P_{16}K_{35}$	51,5	28,8
ЖКУ	$N_{10}P_{34}$	51,5	22,7
Кристаллин	$N_{20}P_{16}K_{20}$	51,5	28,8
Микроудобрения			
Борные		12,5	18,8
Цинковые		2,5	6,9

Затраты, связанные с подготовкой, погрузкой, транспортировкой и внесением минеральных удобрений, рассчитываются по следующей формуле:

$$Э_В = 171,4 + (8,0974Д) + (1,2954Р) + (2,804ДР) – (0,1553 \cdot Р^2),$$

где $Э_В$ – общие энергозатраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение удобрений, МДж/га;

Д – доза удобрений в физической массе, ц;

Р – 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. 12.3.

Таблица 12.3. **Средние энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 ц минеральных удобрений в зависимости от дальности перевозки, МДж**

Транспортировка от рельсового 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	129,9	60,9	70,0	82,7
10	65,1	71,6	81,5	96,0	139,0	73,1	82,1	94,8
20	82,4	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	125,7	134,7	147,4

Энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений приводятся в табл. 12.4, а на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений – в табл. 12.5. Общие затраты энергии при применении удобрений слагаются из энергозатрат на производство удобрений, их транспортировку, погрузку и внесение, а также на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая.

Например, требуется рассчитать энергетическую эффективность применения удобрений под озимую рожь. От хозяйства до базы 15 км. Под озимую рожь внесены минеральные удобрения в дозе $N_{80}P_{50}K_{60}$ (аммиачной селитры – 2 ц/га, аммофоса – 1, хлористого калия – 1 ц/га) в физической массе.

У нас под озимую рожь внесено 190 кг NPK. В табл. 12.6 находим, что окупаемость 1 кг NPK у озимой ржи составляет 6,1 кг зерна. Следовательно, прибавка урожая зерна этой культуры от применения удобрений составит 9,7 ц (190 · 5,1 = 969 кг).

Зная сколько содержится энергии в кг продукции в натуре (см. табл. 12.1), находим количество энергии, накопленной в прибавке урожая:

$$Э_п = П \cdot К \cdot 100 = 9,7 \cdot 16,76 \cdot 100 = 16257 \text{ МДж}.$$

Рассчитываем по вышеприведенной формуле энергозатраты:

1) связанные с производством минеральных удобрений:

$$Э_у = 80 \cdot 80,6 + 50 \cdot 12,6 + 60 \cdot 8,3 = 8055 \text{ МДж/га};$$

2) на доставку удобрений в хозяйство с базы:

$$Э_д = 0,4 \cdot 15 \cdot 22 = 132 \text{ МДж/га}.$$

Таблица 12.4. **Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение твердых органических удобрений, МДж/т**

Расстояние, км	Доза внесения, т/га					
	Прямоточная технология			Перевалочная технология		
	20	40	60	20	40	60
0,5	93	86	80	–	–	–
1,0	109	102	96	–	–	–
1,5	125	118	112	–	–	–
2,0	140	134	128	220	209	198
2,5	157	151	144	233	222	210
3,0	172	165	159	246	234	223
3,5	188	180	174	259	245	236
4,0	204	195	190	272	258	249
4,5	220	211	204	285	272	261
5,0	235	227	221	298	285	274
5,5	250	243	237	310	298	287
6,0	266	260	253	323	312	300
6,5	283	270	269	337	326	314
7,0	298	292	284	350	338	326
7,5	313	307	300	361	351	339
8,0	328	324	315	374	364	351
8,5	343	340	329	387	378	364
9,0	359	355	346	400	390	377
9,5	374	370	362	412	403	390
10,0	394	385	379	425	417	402
11,0	425	416	411	449	440	425

Таблица 12.5. **Примерные энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений**

Культуры, угодья	Вид продукции	Урожайность, ц/га	Энергозатраты, МДж/ц
Озимая рожь	Зерно	30–40	328
Яровой ячмень	То же	30–40	293
Лен-долгунец	Льносоломка	30–40	193
Картофель	Клубни	150–250	79
Сахарная свекла	Корнеплоды	250–350	67
Кормовые корнеплоды	То же	600–800	40
Кукуруза	Силос	300–400	35
Улучшенные сенокосы	Зел. масса	170–250	42
Многолетние травы	Сенаж		84
То же	Зел. масса		35
»	Сенаж	80–120	65
Многолетние травы	То же		84
Многолетние травы	Сено прессованное	40–60	93
	Рассыпное	30–50	105
Однолетние травы	Зел. масса	160–200	39
Вико-овсяная и другие травосмеси	Зел. масса	200–250	44

Таблица 12.6. **Средние нормативы цены балла плодородия почвы и окупаемости удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур**

Культуры	Вид продукции	Цена балла почвы, кг	Дозы удобрений		Оплата, кг продукции	
			органических, т/га	NPK, кг/га	1 т органических удобрений	1 кг NPK
Зерновые в целом	Зерно	50	–	200–300	–	6,2
Озимая рожь	То же	52	30	200–250	25	6,1
Озимая пшеница	»	63	30	250–300	25	7,8
Озимое тритикале	»	65	30	250–300	25	8,0
Яровая пшеница	»	52	–	200–250	–	6,0
Яровое тритикале	»	55	–	200–250	–	6,5
Ячмень	»	54	–	200–250	–	6,5
Овес	»	55	–	200–250	–	6,0
Люпин	»	37	–	160–200	–	4,4
Горох	»	37	–	160–200	–	3,9
Вика	»	30	–	160–200	–	2,6
Гречиха	»	19	–	180–220	–	2,3
Рапс	Семена	25	–	250–300	–	3,2
Лен-долгунец	Волокно	20	–	160–200	–	2,7
Картофель	Клубни	332	50–60	200–300	105	27
Сахарная свекла	Корни	438	60–70	300–350	125	39
Кормовые корнеплоды	То же	883	60–80	300–350	200	73
Кукуруза	Зеленая масса	469	60–80	250–300	190	86
Однолетние травы	То же	265	–	150–200	–	48
Многолетние травы	Сено	106	–	150–200	–	16,6
	Зеленая масса	365	–		–	70
Все культуры на пашне	Корм. ед.	65	–	200–250	30	8,8
Сенокосы и пастбища	Сено	70	–	150–200	–	14,3
	Зеленая масса	350	–		–	72

3) связанные с хранением удобрений в хозяйстве:

$$Э_х = 38,8 \cdot 0,4 = 15,52 \text{ МДж/га};$$

4) на подготовку, погрузку, транспортировку (на 5 км) и внесение минеральных удобрений:

$$Э_в = 171,4 + (8,0974 \cdot 4) + (1,2954 \cdot 5) + 2,804 \cdot 445) - (0,1553 \cdot 25) = 262,467 \text{ МДж/га};$$

5) общие энергозатраты $Э_о$, связанные с применением удобрений:

$$Э_о = Э_у + Э_д + Э_х + Э_в = 8055 + 132 + 15{,}52 + 262{,}467 = 8465{,}0 \text{ МДж/га}.$$

Рассчитываем также энергозатраты, связанные с уборкой, доработкой и реализацией прибавки урожая. Нормативы энергозатрат на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения удобрений, приведены в табл. 12.5. Энергозатраты на уборку, доработку и реализацию 1 ц прибавки урожая зерна составляют 328 МДж, а на всю прибавку:

$$Э_п = 328 \cdot 9{,}7 = 3183 \text{ МДж}.$$

Общие энергозатраты (Эо) на применение удобрений, уборку, доработку и реализацию прибавки урожаев составят:

$$Э_о = Э_у + Э_п = 8465 + 3183 = 11648 \text{ МДж}.$$

Находим энергетический коэффициент (q), который представляет собой частное от деления выхода энергии с прибавкой урожая на общие энергозатраты, связанные с применением удобрений, уборкой, доработкой и реализацией прибавки урожая, полученной от применения удобрений:

$$q = \frac{Э_п}{Э_о} = \frac{16257}{11648} = 1{,}4.$$

Поскольку энергетический коэффициент получился больше единицы, применение удобрений под озимую рожь является оправданным с энергетической точки зрения.

Важным показателем являются также удельные энергозатраты на производство 1 ц сельскохозяйственной продукции.

Они определяются делением общих энергозатрат на прибавку урожая. В нашем примере удельные энергозатраты на производство 1 ц зерна озимой ржи составляют: 11648 : 9,7 = 1201 МДж.

Все расчеты приведены в табл. 12.7.

Таблица 12.7. **Энергетическая эффективность применения удобрений**

Сельскохозяйственные культуры	Прибавка урожая, ц/га	Энергозатраты на удобрения, уборку, доработку и реализацию урожая, МДж	Содержание энергии в прибавке урожая, МДж	Удельные энергозатраты, МДж/ц	Энергетический коэффициент
Озимая рожь	9,7	11648	162257	1201	1,4

При расчете затрат на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений под культуру с учетом их действия и последействия на последующие культуры севооборота 60 % из них необходимо относить на первый год, 25 % – на второй и 15 % – на третий. С учетом этого затраты на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение навоза составят:

$$B = A_1 + У_1,$$

где A_1 – затраты на производство и хранение органических удобрений, МДж/т физической массы (табл. 12.8);

$У_1$ – затраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений, МДж/т (расстояние 5 км) (табл. 12.9).

Таблица 12.8. **Энергетические затраты на производство и хранение органических удобрений**

Виды органических удобрений	Энергетические затраты, МДж/т
Подстилочный навоз на соломенной подстилке (соотношение соломы к полужидкому навозу 1:10)	112
Подстилочный навоз на торфяной подстилке (соотношение торфа к экскрементам 1:3)	222
Торфонавозные компосты (соотношение торфа к навозу 1:3)	283
Торфо-соломенно-навозные компосты (на 1 т полужидкого навоза 50 кг соломы, 250 кг торфокрошки)	286
Усредненные затраты на хранение	6,2

Таблица 12.9. **Примерные средние энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений при разных технологиях внесения**

Прямоточная		Перевалочная	
Доза внесения, т/га	Энергозатраты, МДж/га	Доза внесения, т/га	Энергозатраты, МДж/га
20	4363	20	5387
40	8475	40	10366
60	12379	60	14937

12.1. Экономическая эффективность применения удобрений

Основными показателями агрономической эффективности применения минеральных и органических удобрений при использова-

нии 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 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. 12.6.

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 (руб.) от минеральных и органических удобрений рассчитываются по формуле

$$З_о = З_{м.\ уд} + З_{о.\ уд} + З_{вн.\ м.\ уд} + З_{вн.\ о.\ уд.} + З_{уб} + З_н,$$

где $З_{м.\ уд}$ – расходы хозяйства на приобретение минеральных удобрений в ассортименте по ценам для сельского хозяйства (цена + наценка «Агросервиса»);

$З_{о.\ уд}$ – расходы хозяйства на производство и хранение органических удобрений;

$З_{вн.\ м.\ уд}$ – расходы на погрузку, разгрузку, доставку в хозяйство, хранение подготовку, перевозку в поле и внесение минеральных удобрений;

$З_{вн.\ о.\ уд}$ – расходы на погрузку, перевозку в поле и внесение органических удобрений;

$З_{уб}$ – расходы на уборку, перевозку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет удобрений;

$З_н$ – общепроизводственные, общехозяйственные и другие расходы, отнесенные по действующей системе бухгалтерского учета на себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Цены на удобрения берутся с учетом последующих изменений и дополнений. 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 фактическим затратам по хозяйству. Учитывая последействие 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 (П) определяется по разности между стоимостью прибавки ($С_п$) урожая за счет внесения удобрений и затратами (З о) на ее получение по формуле

$$П = С_п – З_о.$$

На основании чистого дохода можно рассчитать доход, полученный на 1 руб. 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 (Р) от применения удобрений, которая выражается в %:

$$Р = \frac{П}{З_о} \cdot 100.$$

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 для получения этой прибавки. 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).

13. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

13.1. Экологическая оценка агрохимических средств

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.

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.

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.

В связи с негативными последствиями неправильного применения удобрений в качестве одного из возможных путей развития сельского хозяйства предлагается полный отказ от их использования – биологическое, или альтернативное, земледелие. В качестве удобрений сторонники биологического земледелия предлагают использовать растительные остатки, навоз, сидераты, различные органические отходы, широко практиковать возделывание бобовых трав, применять биологические методы защиты от болезней и вредителей.

Наибольшее распространение альтернативное земледелие получило в США, Швейцарии и Дании. Но и в этих странах его используют небольшое число ферм: в США – 0,9–1,3 %, в Швейцарии – 0,8, в Дании – 1,4 %. Как видим, альтернативное земледелие – не выход из положения, так как оно не может обеспечить человечество достаточным количеством продуктов питания. Однако в связи с возрастающей нагрузкой на окружающую среду при интенсивном применении средств химизации дальнейшее развитие комплексных агрохимических исследований с учетом экологизации и биологизации земледелия приобретает особую актуальность и значение.

Однако далеко не всегда продукция, выращенная при биологическом земледелии, более питательна и безопасна для здоровья. Так, в Швейцарии группа экспертов не смогла установить разницу в качестве овощей, выращенных при альтернативном земледелии и обычном, использующем минеральные удобрения и химические препараты. В Гер-

мании общество потребителей в течение трех лет сравнивало продукты современного и альтернативного земледелия: яблоки, овощи (салат, морковь), картофель, хлеб. Определялись остаточные количества 45 ядохимикатов, 3 тяжелых металлов, нитратов и 13 веществ, имеющих питательную и вкусовую ценность. Установить какую-либо разницу в продуктах не удалось. Однако внешний вид биологических яблок был менее привлекателен, чем небиологических.

Больше всего химических средств (в расчете на единицу продукции) используется в Японии, где средняя продолжительность жизни самая высокая в мире.

Следует отметить, что продукция биологического земледелия значительно дороже, а отказ от минеральных удобрений приведет к катастрофическому сокращению производства продовольствия.

Применение химических средств в сельском хозяйстве – относительно небольшой источник загрязнения окружающей среды.

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. Металлургические 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 индустриальных 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. 13.1.

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 водорос-

лей 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 ограничивают 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 13.1. **Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоемов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного использования, мг/л**

Вещества	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 заиление 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, живот-

новодческих 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/м^3 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, щавель, 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.

13.2. Контроль за содержанием нитратов в растениеводческой продукции

Степень накопления нитратов в растениях зависит от особенностей сельскохозяйственных культур, условий минерального питания и поч-

венно-экологических факторов. Каждый из этих факторов может стать решающим в накоплении нитратов в растениях. Нитраты – непременный атрибут 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. За это открытие в 1998 г. он получил Нобелевскую премию. 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. В связи с этим многие ученые считают, что установленные ВОЗ ПДК нитратов в овощах и фруктах полезны, а не опасны, и ПДК следует увеличить.

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, температура 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%-ном 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 нитрозамины 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. 13.2.

Таблица 13.2. **Предельно допустимые концентрации нитратов в картофеле, овощах и фруктах, мг/кг сырого продукта**

Виды продукции	Для открытого грунта	Для защищенного грунта
Картофель	250	–
Морковь ранняя	400	–
Морковь поздняя	250	–
Капуста поздняя	500	–
Капуста белокачанная ранняя	900	
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)
Салат латук свежий	–	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 исключающие загрязнение окружающей среды (см. табл. 6.3). 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.

13.3. 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 удобрени-

ях. 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 эту группу 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 1,73 мг/кг, улучшенных сенокосных и пастбищ-

ных земель – 3,32 мг/кг. В целом по республике 50,9 % пахотных и 40,9 % 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 1,5 % 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. 13.3).

Таблица 13.3. **Сельскохозяйственные земли Беларуси, загрязненные медью, тыс. га (И. М. Богдевич и др.)**

Области	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. 13.4).

Таблица 13.4. **Сельскохозяйственные земли Беларуси, загрязненные цинком, тыс. га**

Области	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

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.

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.

Как отмечает в своей работе Л. М. Кузнецова, при содержании кадмия в почве более 5мг/кг наблюдается снижение урожая. По данным А. Клоке, H. Schenke, загрязненные растения могут содержать более 400 мг/кг кадмия. Кадмий снижает количество каротина 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. 13.5).

Таблица 13.5. **Среднее содержание кадмия в фосфатном сырье разных стран**

Страны	P_2O_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. 13.6.

Таблица 13.6. **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. 13.7).

Таблица 13.7. **Содержание тяжелых металлов в удобрениях и извести, г/т (Н. А. Черных, В. Ф. Ладонин)**

Удобрения	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. 13.8.

Таблица 13.8. **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. Так, в осадках сточных вод г. Могилева содержалось (в мг/кг сухого вещества): цинка – 300–1400, меди – 89–309, хрома – 142–264, никеля – 89–100, марганца – 640–961, свинца – 14–71, кобальта – 80–114, кадмия – 5–9. Присутствие ТМ в осадках сточных вод является главным препятствием их широкого использования в качестве удобрений.

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 республики, 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. 13.9).

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 13.9. **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
Валовое содержание			
Цинк			
ПДУ pH > 5,5	80,0	60,0	50,0
pH < 5,5	60,0	50,0	40,0
Медь			
ПДУ pH > 5,5	100,0	70,0	60,0
pH < 5,5	80,0	60,0	50,0
Подвижные формы (экстрагент 1 М HCl)			
Цинк			
ПДУ pH > 5,5	18,0	16,0	14,0
pH < 5,5	15,0	14,0	12,0
Медь			
ПДУ pH > 5,5	15,0	12,0	10,0
pH < 5,5	12,0	10,0	8,0

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. 13.10.

Снизить поступление тяжелых металлов в растения можно с помощью таких агротехнических приемов, как известкование, внесение органических и минеральных удобрений, применение природных цеолитов.

Для получения продукции растениеводства, отвечающей гигиеническим требованиям к качеству и безопасности продовольственного сырья, пищевых продуктов и кормов по содержанию тяжелых металлов, необходимо на сельскохозяйственных землях, загрязненных тяжелыми металлами, осуществлять комплекс мероприятий организационного и технологического характера, основными из которых являются: подбор культур, менее всего накапливающих тяжелые металлы; замена культур, аккумулирующих значительное количество тяжелых металлов, на культуры с меньшей интенсивностью поглощения этих элементов, способствующих снижению накопления их в растениеводческой продукции в 2–3 раза.

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 произвесткованную почву навоза или компостов на его основе.

Таблица 13.10. **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*
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
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 т. ч. 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 свежемороженные 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.

При сильном загрязнении почвы наиболее радикальным средством является снятие верхнего слоя почвы и замена его «чистой» почвой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ; Колос, 2004. – 720 с.

2. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

3. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

4. Агрохимия : учеб. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: РИПО, 2011. – 300 с.

5. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.

6. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.

7. Рациональное применение удобрений: пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 324 с.

8. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 392 с.

9. Удобрение и качество урожая сельскохозяйственных клуьтур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: УП «Техноприт», 2005. – 276 с.

10. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.

11. Система применения удобрений: учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.]; под. науч. ред. В. В. Лапа. – Гродно: ГГАУ, 2011 – 416 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 3
1. ЗНАЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ИХ МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО..... 5
1.1. Производство и применение удобрений в Беларуси..... 9
2. СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ..... 22
2.1. Состав и свойства минеральной и органической частей почвы..... 24
2.1.1. Минеральная часть почвы..... 25
2.1.2. Органическая часть почвы..... 30
2.2. Поглотительная способность почвы..... 38
2.3. Реакция и буферные свойства почвы..... 42
2.3.1. Азотный режим почвы..... 48
2.3.2. Фосфатный режим почвы..... 52
2.3.3. Калийный режим почвы..... 58
2.3.4. Биологическая активность почвы..... 61
2.4. Оптимизация плодородия почвы..... 62
3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ..... 69
3.1. Химический состав растений..... 69
3.2. Питание растений..... 80
3.2.1. Корневая система растений. Механизм корневого питания..... 82
3.2.2. Избирательное поглощение ионов растениями, физиологическая реакция солей (удобрений)..... 83
3.2.3. Влияние условий внешней среды и микроорганизмов на поглощение растениями питательных элементов..... 84
3.2.4. Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста..... 89
4. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ..... 91
5. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВЫ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ..... 105
5.1. Отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию..... 105
5.2. Влияние известковых удобрений на свойства, питательный режим почвы и урожайность сельскохозяйственных культур..... 110
5.3. Формы известковых удобрений..... 115
5.4. Дозы, сроки и способы внесения извести..... 121
6. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ..... 131
6.1. Классификация и свойства минеральных удобрений..... 131
6.2. Азотные удобрения..... 133
6.2.1. Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве..... 133
6.2.2. Классификация, получение, свойства и особенности применения азотных удобрений..... 139
6.2.3. Способы повышения эффективности азотных удобрений..... 151
6.3. Фосфорные удобрения..... 160
6.3.1. Роль фосфора в питании растений..... 160
6.3.2. Месторождения фосфорного сырья, способы получения, свойства и применение фосфорных удобрений..... 164
6.3.3. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой..... 170
6.3.4. Приемы рационального использования фосфорных удобрений..... 172
6.4. Калийные удобрения..... 175

6.4.1. Роль калия в жизни растений 175
6.4.2. Месторождения калийных солей, способы получения, состав и свойства калийных удобрений 178
6.4.3. Взаимодействие калийных удобрений с почвой 180
6.4.4. Особенности использования и способы повышения эффективности калийных удобрений 181
6.5. Серосодержащие удобрения 183
6.6. Микроудобрения 187
6.6.1. Значение микроудобрений 187
6.6.2. Борные удобрения 190
6.6.3. Медные удобрения 194
6.6.4. Цинковые удобрения 196
6.6.5. Молибденовые удобрения 197
6.6.6. Марганцевые удобрения 198
6.6.7. Приемы рационального применения микроудобрений 200
6.7. Комплексные удобрения 203
7. ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ 209
7.1. Органические удобрения, их виды и эффективное использование 209
7.1.1. Дозы и сроки применения органических удобрений 214
7.1.2. Подстилочный навоз 217
7.1.3. Бесподстилочный навоз 225
7.1.4. Птичий помет 228
7.1.5. Торф 231
7.1.6. Компосты 232
7.1.7. Вермикомпост, или биогумус 236
7.1.8. Сапропель 238
7.1.9. Зеленое удобрение 240
7.1.10. Солома 243
7.2. Бактериальные удобрения 247
8. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПОД ОСНОВНЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ 253
8.1. Озимые зерновые культуры 253
8.1.1. Озимая пшеница 253
8.1.2. Озимая рожь 270
8.1.3. Озимая тритикале 273
8.2. Яровые зерновые культуры 276
8.2.1. Яровая пшеница 276
8.2.2. Ячмень 280
8.2.3. Пивоваренный ячмень 282
8.2.4. Яровая тритикале 283
8.2.5. Овес 286
8.3. Зернобобовые культуры 287
8.3.1. Люпин 290
8.3.2. Соя 292
8.3.3. Горох 293
8.4. Просо 294
8.5. Гречиха 297
8.6. Лен-долгунец 299
8.7. Сахарная свекла 303

8.8. Кормовая свекла…… 307
8.9. Кукуруза…… 308
8.10. Картофель…… 311
8.11. Озимый и яровой рапс…… 314
8.12. Однолетние и многолетние травы…… 319
8.12.1. Однолетние травы…… 319
8.12.2. Многолетние травы…… 320
8.13. Удобрения сенокосов и пастбищ…… 324
8.14. Плодовые и ягодные культуры…… 327
8.14.1. Особенности питания плодовых и ягодных культур…… 327
8.14.2. Предпосадочное окультуривание почвы и внесение удобрений при посадке сада…… 329
8.14.3. Удобрение молодого и плодоносящего сада…… 331
8.14.4. Удобрение ягодных культур…… 333
8.15. Удобрения овощных культур…… 334
8.15.1. Применение удобрений в защищенном грунте…… 341
9. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА КАЧЕСТВО УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР…… 350
10. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ…… 358
10.1. Основные направления деятельности и структура агрохимической службы Республики Беларусь…… 358
11. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ…… 361
11.1. Поведение радионуклидов в почвах и поступление их в растения…… 362
11.2. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию…… 367
12. ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ…… 372
12.1. Экономическая эффективность применения удобрений…… 380
13. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ…… 383
13.1. Экологическая оценка агрохимических средств…… 383
13.2. Контроль за содержанием нитратов в растениеводческой продукции…… 387
13.3. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и способы снижения их накопления в растениеводческой продукции…… 391
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…… 402

Учебное издание

Вильдфлуш Игорь Робертович
Лапа Виталий Витальевич
Мишура Ольга Игоревна

АГРОХИМИЯ

УДОБРЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Учебно-методическое пособие

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор *Н. П. Лаходанова*

Подписано в печать 10.10.2019. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 24,18. Уч.-изд. л. 22,83.
Тираж 75 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.