

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СМОЛЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н.Е. САМСОНОВА

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР**

СМОЛЕНСК 2019

УДК 631.81
С 17
ББК 40.40

Рецензент: А.Г. Гурин, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой агроэкологии и охраны окружающей среды ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Самсонова, Н.Е.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УДОБРЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Учебное пособие/ Н.Е. Самсонова – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2019 г. 350 с.

Рассмотрены современные достижения науки в области организации рационального питания сельскохозяйственных культур. Изложены теоретические и технологические вопросы применения удобрений, особенности систем удобрения в Нечерноземной зоне на эродированных, мелиорированных землях, на загрязненных радионуклидами территориях. Рассмотрены вопросы точного земледелия в области применения удобрений.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.04 – Агрономия и 35.03.07 – Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, а также может быть использовано слушателями системы повышения квалификации и переподготовки кадров специалистов сельского хозяйства.

Печатается по решению Методического совета
ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА
(протокол № 4 от 24 декабря 2019 г.)

УДК 631.81
ББК 40.40

© Самсонова Н.Е., 2019
© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Смоленская государственная
сельскохозяйственная академия», 2019

ВВЕДЕНИЕ



Урожайность сельскохозяйственных культур зависит от комплекса природных и антропогенных факторов, которые, в конечном счете, определяют уровень обеспеченности растений условиями жизни: теплом, светом, водой, воздухом, питательными веществами.

Питание растений – сложный процесс поступления отдельных биогенных элементов из воздуха (ассимиляция CO_2 листьями в процессе фотосинтеза) и поглощения основного их количества из почвы через корневую систему. Регулирование и оптимизация этого процесса задача достаточно сложная, так как питание находится в тесной взаимосвязи с условиями, трудно поддающимися регулированию (температура и влажность воздуха и почвы, солнечная радиация и др.).

Самым сильным и быстродействующим фактором, влияющим на процессы роста, развития растений, направленность в них обмена веществ, на круговорот веществ в земледелии, являются минеральные и органические удобрения. Без них невозможно оптимизировать питание растений, стабилизировать производственный процесс сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях выращивания, управлять величиной и качеством урожая, регулировать плодородие почвы.

Рациональное применение удобрений способствует более экономному использованию воды растениями, повышению урожая и улучшению его качества, одновременно делая почву более плодородной. Цель применения удобрений состоит в устранении разрыва между наличием в почве питательных элементов и потребностью в них растений для создания хорошего урожая.

Вопросами оптимизации плодородия почвы и питания растений с помощью удобрений для получения высокого и качественного урожая занимается наука **агрохимия** – теоретическая, биологическая и химическая

дисциплина, имеющая прямую связь с практикой сельскохозяйственного производства.

Агрохимия тесно связана с другими фундаментальными и прикладными науками, неполный перечень которых приведен на рисунке 1.

Д.Н. Прянишников, основоположник отечественной агрохимической школы, определяя место агрохимии среди других наук, отмечал: *«агрохимия не есть нечто параллельное с физиологией растений, почвоведением, земледелием, но она идет как бы в поперечном направлении, проникая внутрь этих дисциплин и охватывая в них все то, что подлежит исследованию химическими методами»*. Одной из основных задач агрохимии он считал *«изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве, растении, которые могут повышать урожай или изменять (улучшать) его состав. Главным способом вмешательства в этот круговорот является применение удобрений»*.

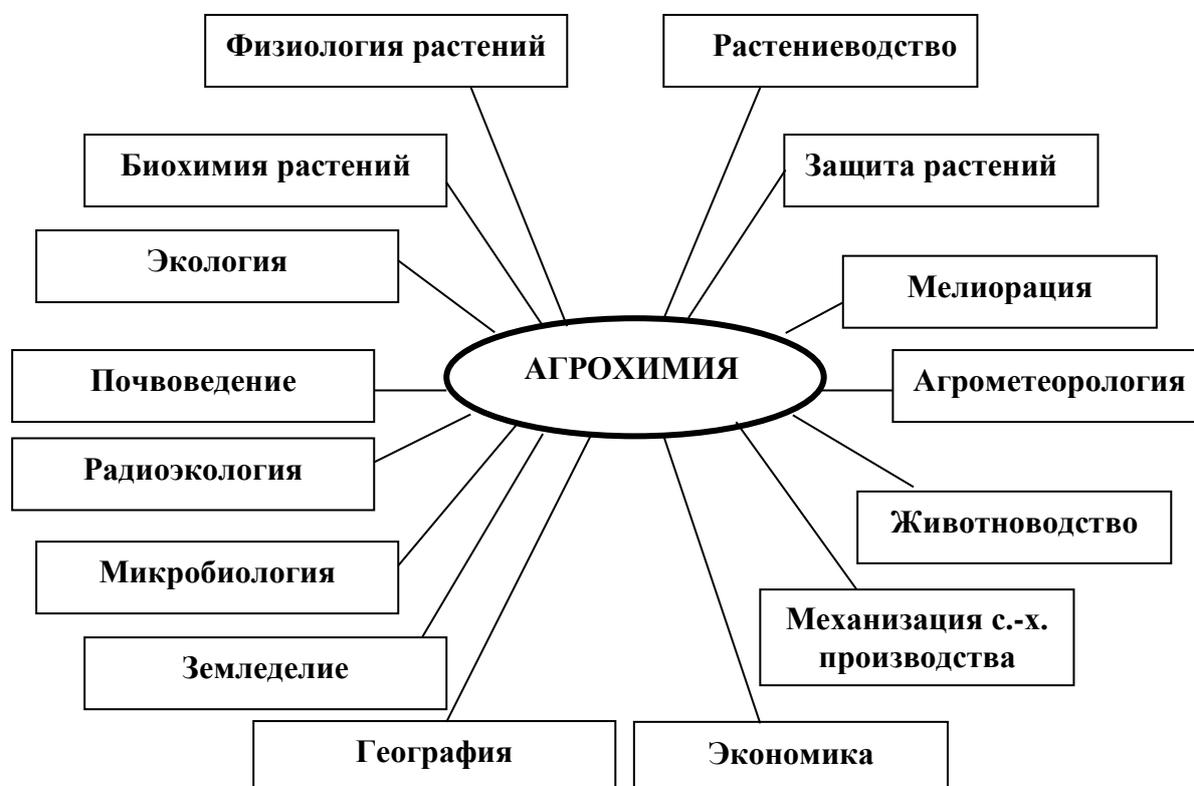


Рисунок 1 – Связь агрохимии с другими науками

Удобрение – имеет два смысла. С одной стороны – это *вещество* для питания растений и повышения плодородия почвы, а с другой – *процесс* направленного обогащения почвы органическим веществом и питательными элементами.

Залог эффективного использования удобрений кроется не в разрозненных приемах их внесения под отдельные сельскохозяйственные культуры, а в научно-обоснованной системе применения на основе знаний о взаимоотношениях в системе почва–растение–удобрение с учетом биоклиматического потенциала региона.

В научной литературе используются следующие наиболее распространенные термины, связанные с применением удобрений (ГОСТ 20432-83).

Действующее вещество – питательный элемент, содержащийся в удобрении. Содержание азота в удобрениях принято выражать в процентах N, фосфора – в пересчете на P_2O_5 , калия – на K_2O .

Вид минерального удобрения – категория минерального удобрения, выделяемая по действующему веществу. Существуют следующие виды минеральных удобрений: азотные, фосфорные, калийные, магниевые, борные, молибденовые и др.

Форма минерального удобрения – характеристика вида удобрения по химическому составу. Например, формами азотных удобрений являются сульфат аммония, аммиачная селитра, мочевина (карбамид). Формы фосфорных удобрений – суперфосфат, фосфоритная мука, калийных – хлористый калий, сульфат калия и т.д. То есть, форма удобрения – это конкретное удобрение в пределах вида.

Питательные элементы – элементы, необходимые для роста и развития растений. Питательные элементы подразделяют на три группы: *главные* – N, P, K; *макроэлементы* – N, P, K, Ca, Mg, S и другие, содержащиеся в растениях и почве в количестве от нескольких процентов до сотых долей процента в расчете

на сухую массу; *микроэлементы* – В, Мп, Сu, Zn, Со, Мо и другие, количество которых в растениях и почве составляет не более тысячных долей процента в расчете на сухую массу.

Доза удобрения – масса удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за один прием. Обычно дозу минеральных удобрений выражают в кг д.в./га, органических – в т/га.

Приемы внесения удобрений: *Основное внесение* – внесение основной массы удобрений до посева или посадки; *рядковое внесение* – внесение удобрения при посеве или посадке; *подкормка растений* – внесение удобрения в период вегетации в почву или путем опрыскивания/опыливания надземной части растений (*некорневая подкормка*).

Способ внесения: *разбросное* – внесение удобрения, обеспечивающее сплошное равномерное распределение его по поверхности почвы разбрасывателями; *локальное* – внесение удобрения, обеспечивающее его размещение в почве очагами различной формы; *периодическое (в запас)* – единовременное внесение нескольких годовых доз минерального удобрения с заданной периодичностью (например, 1 раз в три года).

Дробное внесение минерального удобрения – внесение суммарной годовой дозы удобрения несколькими частями (дробными дозами) до посева/посадки и в течение вегетационного периода.

Коэффициент использования действующего вещества удобрения (КИУ) – отношение количества действующего вещества, вынесенного урожаем из удобрения, к общей внесенной дозе удобрения. КИУ принято выражать в процентах. Он определяется разностным методом или с помощью метода меченых атомов.

В настоящем учебном пособии рассматриваются теоретические и технологические вопросы научно-обоснованного применения органических и минеральных удобрений.

1 ХИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ КАК ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Немецкий ученый, химик Юстус Либих (1803–1873) указывал, что причина процветания и падения наций лежит в одном и том же: *расхищение плодородия почвы обуславливает их гибель, поддержание - жизнь, богатство и могущество.*

Численность населения на земном шаре постоянно увеличивается и в настоящее время оценивается в 7,7 млрд человек. К 2050 г. по прогнозам она достигнет 9,3 млрд человек. В соответствии с этим увеличится потребность в продуктах питания, рост производства которых возможен только при расширении посевных площадей и повышении урожайности сельскохозяйственных культур за счет выведения высокопродуктивных сортов и применения удобрений. С 1980 по 2000 гг. в мире за счет расширения посевных площадей было получено только 22% прироста производства продукции растениеводства, остальные 78% – благодаря росту урожайности сельскохозяйственных культур. Главным катализатором спроса на удобрения является продовольственный кризис.

Ретроспективный взгляд на рост урожайности сельскохозяйственных культур на историческом пути развития земледелия показывает, что примитивные подсечно-огневая и переложная системы обеспечивали получение только около 0,4 т/га зерна. При средневековой трехпольной системе (пар – озимые – яровые) за счет отдыха поля и внесения на нем навоза урожайность увеличилась до 0,6–0,7 т/га. Введенная в XVIII веке плодосменная система земледелия (пропашные – яровые – клевер – озимые) позволила довести урожайность зерновых до 1,6 т/га, увеличить поголовье скота и выход навоза, повысить плодородие почв. Эта система просуществовала в Европе в течение всего XIX века.

В XX веке, ознаменовавшемся интенсификацией земледелия, применение минеральных удобрений в пересчете на 100% действующего вещества

увеличилось в 150 раз (с 1 млн. тонн в начале века до 150 млн. тонн в конце) и в 30-х годах в странах Западной Европы урожайность зерновых достигла 3 т/га.

Анализируя состояние применения удобрений в странах Западной Европы, академик Д.Н. Прянишников отмечал, что *для повышения урожайности с 0,7 до 1,6 т/га за счет плодосмена и улучшенной обработки почвы потребовалось 100 лет, а для увеличения ее с 1,6 до 3 т/га благодаря применению минеральных удобрений – только 25 лет.*

Опыт мирового земледелия показывает, что уровень урожайности тесно связан с количеством используемых удобрений. За период с 1950 по 1990 годы в мире 10-кратное увеличение объемов применения минеральных удобрений (с 14 до 140 млн. т) позволило утроить производство зерна (с 630 до 1970 млн т). При этом посевные площади практически не расширялись (Ладонин, 1999).

Благодаря внедрению интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, успехам генетики и селекции по выведению высокопродуктивных сортов, применению высоких доз удобрений, использованию ретардантов и химических средств защиты растений, урожайность зерновых достигла 7–8 т/га и более. К этому времени в странах Западной Европы практически не осталось кислых почв.

Земледелие России до 20-х годов XX века было основано на трехпольной системе. В отличие от стран Западной Европы почвы России не прошли 100-летнего окультуривания плодосменом. Русский ученый агроном А.Т. Болотов в 1779 году с горечью писал: *«Без навоза земля не дает урожая, а навоза мало, так как нет скота, а скота мало, так как мало кормов, а кормов мало, так как без навоза земля не дает урожая».* Низкий уровень естественного плодородия почв, переувлажнение их в северных районах и засушливые условия на юге страны, недостаток тепла обеспечивало урожайность зерновых на уровне 1,2 т/га, тогда как страны Западной Европы уже достигли 3 т/га.

Во второй половине XX столетия в России были предприняты меры для резкого увеличения производства и применения минеральных удобрений (табл.

1). В 1973 г. бывший Советский Союз вышел на первое место в мире по их производству.

Таблица 1 – Применение минеральных удобрений в России во второй половине XX века (в пересчете на 100% действующего вещества)

1965 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	1986-1990 гг.	1999 г.
Всего, тыс. тонн						
2608	4317	7896	8914	12677	12800	1400
на 1 гектар пахотных земель, кг						
19,7	32,9	59,9	67,5	96,0	99,0	13,0

Увеличение поголовья животных в сельском хозяйстве, продолжавшееся до начала 90-х годов XX столетия, привело к нарастанию объемов применения органических удобрений (рис. 2), которые являются одним из основных элементов системы удобрения.

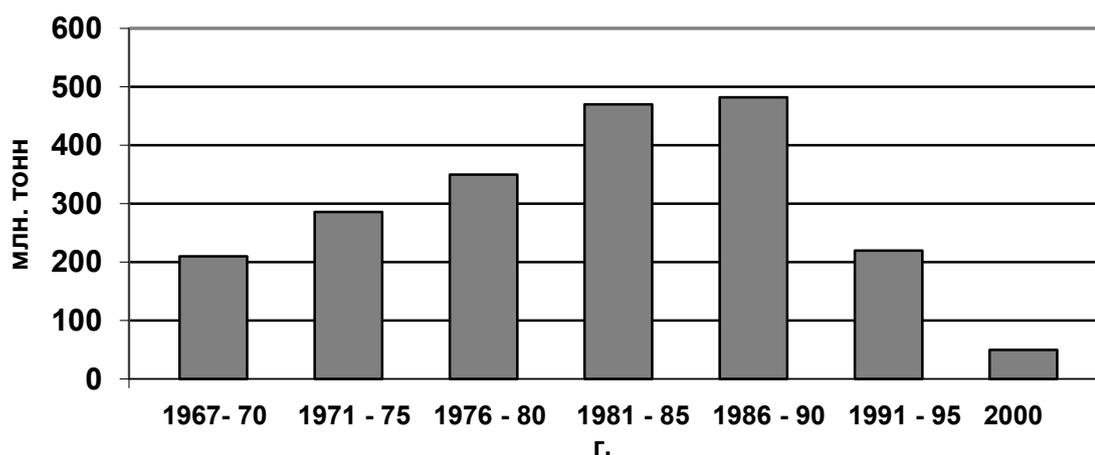


Рисунок 2 – Среднегодовое внесение органических удобрений

Более чем в 2 раза выросли темпы известкования кислых почв (с 2,3 млн. га в 1967–1970 гг. до 5,4 млн. га в 1986-1990 гг.). Все это позволило к 1990 году повысить урожайность зерновых с 1,2 до 1,8 т/га.

Последнее десятилетие XX века, ознаменовавшееся экономическим кризисом и переходом России к условиям жестких рыночных отношений, привело к резкому падению (в 9–10 раз) объемов применения минеральных и органических удобрений, снижению темпов химической мелиорации кислых

почв (в 18 раз). В результате стала повышаться кислотность почв, снижаться содержание в них гумуса, питательных элементов.

Начиная с 2000 г. в России стали нарастать объемы производства и применения минеральных удобрений (табл. 2).

Таблица 2 – Статистические показатели динамики производства и применения минеральных удобрений в России
(в пересчете на 100% действующего вещества)

Показатель	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2016 г.
Производство минеральных удобрений, млн т	12,2	16,6	17,9	20,5
Доля экспорта в объеме производства, %	79	71	69	80
Внесение минеральных удобрений в России:				
всего, млн т	1,4	1,5	1,9	3,2
на 1 га, кг	19	25	38	49

Наибольшие объемы производимых удобрений приходятся на карбамид и аммиачную селитру (азотные удобрения), хлорид калия (калийные удобрения), аммофос, диаммофос и сложные удобрения (NPK), 70–80% которых идут на экспорт в страны Латинской Америки, Пакистан, Вьетнам, Китай, а также Великобритания, Германия, Испания и др., остальные 20–30% – реализуются на внутреннем рынке.

Для расширенного воспроизводства плодородия почв требуется 16,5 млн тонн удобрений, а для бездефицитного баланса питательных веществ – 8–9 млн тонн. Государственной программой развития сельского хозяйства страны к 2025 г. предусмотрено увеличение объемов применения минеральных удобрений до 5 млн тонн, т.е. в 1,5 раза к уровню 2016 г.

В основных сельскохозяйственных регионах России объемы внесения минеральных удобрений сопоставимы с мировой практикой, однако средний уровень их внесения в целом по стране остается низким.

Удобрения являются самым быстродействующим и эффективным фактором повышения продуктивности полей. Экстенсивное земледелие без удобрений неизбежно ведет к постепенному снижению плодородия почв и снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Если напряженность проблемы азота в земледелии можно решать за счет разумного сочетания биологического и технического азота (симбиотическая и не симбиотическая азотфиксация, минеральные азотные удобрения), а также применения органических удобрений, то проблему фосфора и калия – только за счет применения удобрений, так как природных источников поступления в почву этих элементов не существует.

В настоящее время свыше 45 млн. га сельскохозяйственных угодий страны характеризуются кислой реакцией среды, что на 30–40% снижает эффективность минеральных удобрений. Очень низким содержанием подвижного фосфора характеризуются 24,5 млн. га (21%) пашни и 30,4% – очень низким и низким, 10% почв характеризуется очень низким содержанием подвижного калия. Площади почв с низким содержанием гумуса составляют 53,3 млн. га (46% почв России).

Низкое плодородие почв и их мелиоративная неустроенность, огромные масштабы и интенсивность их деградации приводят к ежегодному недобору 37–45 млн тонн продукции в пересчете на зерно.

Состояние плодородия почв Смоленской области и применение удобрений. Почвенный покров Смоленской области представлен в основном дерново-подзолистыми почвами (77,6% всех почв), дерново-подзолистыми оглеенными (16,5%), а также дерновыми, бурыми лесными, пойменными и болотными, которые занимают 5,9% всей территории. Общая площадь сельскохозяйственных угодий области составляет 1724 тыс. га, в том числе 1260,8 тыс. га – пашня.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются низким естественным плодородием из-за повышенной кислотности, низкого содержания гумуса, низкой емкости поглощения, недостаточной обеспеченности питательными элементами.

Мониторинг состояния плодородия почв области с 1964 г. осуществляется двумя станциями Государственной агрохимической службы – ФГБУ ГСАС «Смоленская» и «Вяземская».

Важнейшим показателем плодородия почв является содержание в них органического вещества. Обследование показало, что 98% почв Смоленской области имеют низкое и среднее (менее 2,5%) содержание гумуса. Средневзвешенное его содержание в пахотных почвах изменилось с 1,72% в 1986–1990 гг. до 2,13% в 2011–2015 гг., что связано с выведением из землепользования самых низко плодородных почв. Максимальное содержание органического вещества (2,44–2,53%) отмечено в почвах Починковского, Демидовского и Руднянского районов, наиболее бедны им почвы Дорогобужского, Глинковского и Темкинского районов (1,29–1,33%).

Основным условием обогащения почв гумусом является внесение органических удобрений. До 1990 г. обеспеченность ими пахотных почв составляла 5,8 т/га, а к настоящему времени снизилась до 1,8–2,0 т/га (рис.3). Для получения бездефицитного баланса гумуса требуется иметь обеспеченность органическими удобрениями 10–12 т/га на суглинистых почвах и 15–16 т/га на супесчаных. Поэтому в настоящее время в приходной части баланса большую долю составляют корневые и пожнивные остатки сельскохозяйственных культур.

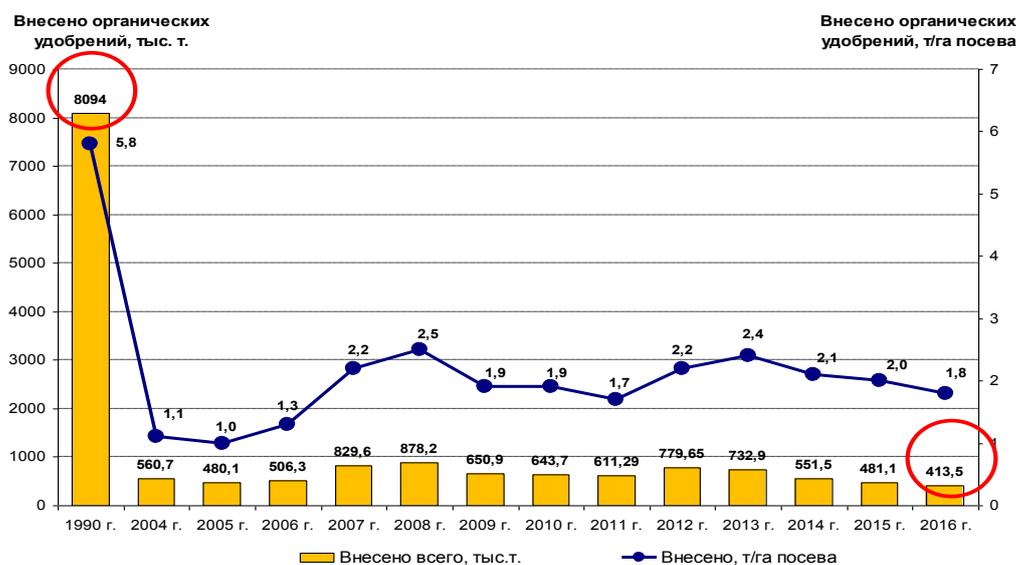


Рисунок 3 – Динамика внесения органических удобрений в Смоленской области
(Смоленская область в цифрах 2017: Краткий стат. сб. / Смоленскстат. Смоленск, 2017)

Важнейшим условием получения высоких и устойчивых урожаев является реакция почвенной среды. По результатам 1-го цикла агрохимического обследования (1965–1970 гг.) в Смоленской области было выявлено 92,4% кислых почв. Средневзвешенный показатель кислотности (pH_{KCl}) в эти годы составил 4,66 (среднекислая почва).

Известкование кислых почв, проводившееся до 1990 г., и вывод в 1993–1997 гг. из оборота наименее продуктивных земель в 1,7 раз сократило их площади. Средневзвешенный показатель pH стал соответствовать слабокислой почве (pH_{KCl} 5,4). Начавшееся после 1991 г. резкое сокращение работ по известкованию (рис. 4) привело к обратному подкислению почв.

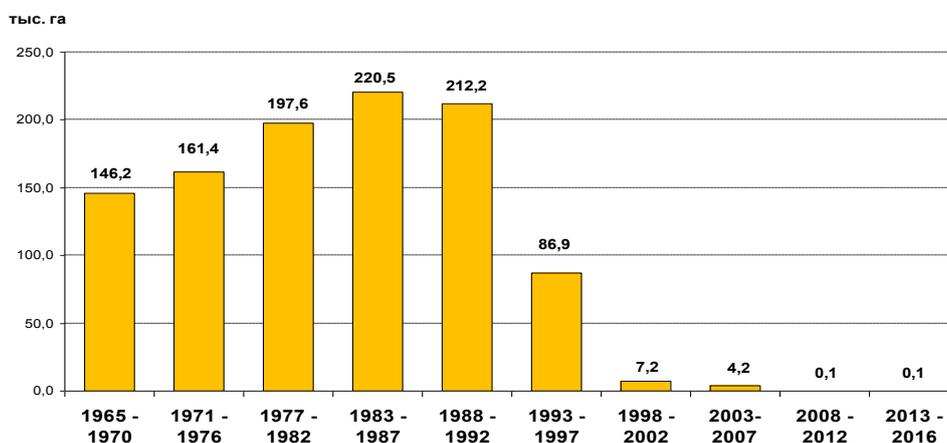


Рисунок 4 – Среднегодовые объемы известкования кислых почв, тыс. га
(Смоленская область в цифрах 2017: Краткий стат. сб. / Смоленскстат. Смоленск, 2017)

К 2016 г. доля кислых почв выросла до 72,6% от обследуемой площади, а уровень pH снизился на 0,2 единицы по отношению к результатам обследования в 1993–1997 гг. (pH_{KCl} 5,2).

Важнейшими питательными элементами для растений являются фосфор и калий. Обеспеченность почв и питание растений этими элементами тесно связано с объемами применяемых удобрений. Отмеченное выше недостаточное использование органических удобрений, в состав которых входят эти питательные элементы, не компенсируется минеральными удобрениями,

применение которых с 1990 г. сократилось в 6,5 раз (рис. 5). В 2016 г. было внесено всего 20,1 кг/га действующих веществ минеральных удобрений.

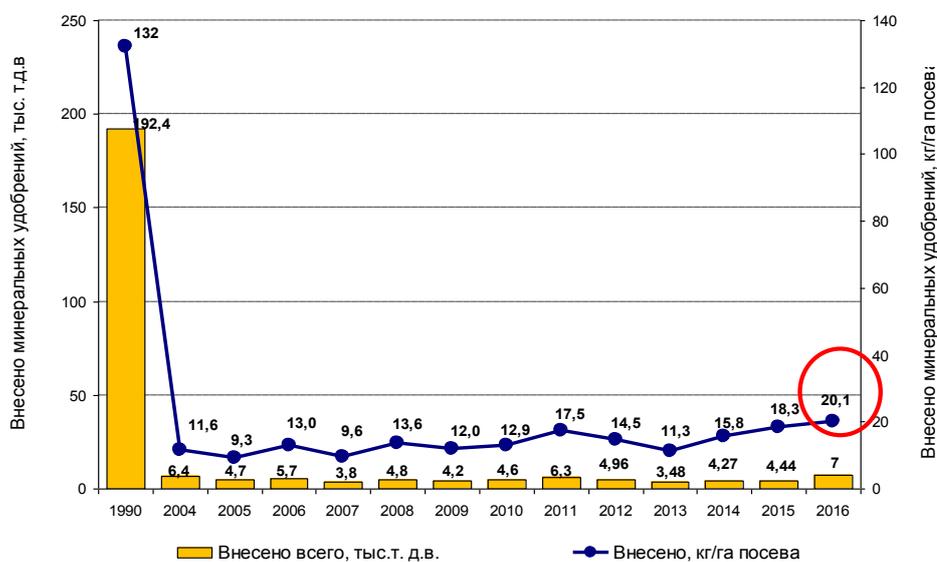


Рисунок 5 – Динамика внесения минеральных удобрений

(Смоленская область в цифрах 2017: Краткий стат. сб. / Смоленскстат. Смоленск, 2017)

В этих условиях стало снижаться содержание подвижных форм фосфора и калия в почвах (табл. 3).

Таблица 3 – Динамика содержания подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) в почвах Смоленской области, мг/кг
(данные ФГУ ГСАС «Смоленская»)

Показатель	1965–1970 гг.	1971–1975 гг.	1976–1980 гг.	1981–1985 гг.	1986–1990 гг.	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2005 гг.	2006–2010 гг.	2011–2015 гг.
P ₂ O ₅	52	69	79	92	110	123	102	118	117	117
K ₂ O	77	84	98	114	115	115	97	94	95	91

На первых этапах химизации земледелия за счет роста объемов внесения фосфорных удобрений и проведения фосфоритования кислых почв (рис. 6) содержание подвижных фосфатов в почве выросло с 52 мг/кг (1964–1970 гг.) до 123 мг/кг (1991–1995 гг.) при уменьшении почти в 4 раза площадей почв с низким их содержанием. Последовавшее за этим резкое (в 15–18 раз) снижение доз фосфорных удобрений (с 45 до 2,5–3 кг/га д. в.) и прекращение работ по фосфоритованию почв, несмотря на вывод из землепользования наименее

плодородных почв, привело к небольшому снижению содержания фосфора в почве (со 123 до 117 мг/кг). Площади почв с низким и очень низким его содержанием в настоящее время составляют 23% (129,3 тыс. га).

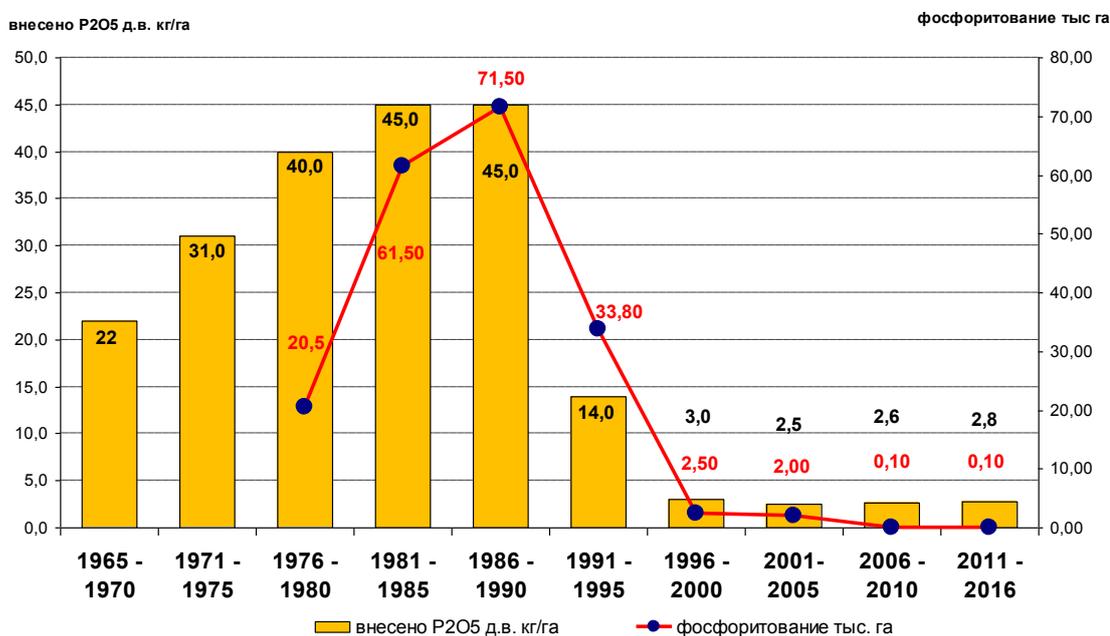


Рисунок 6 – Среднегодовые объемы внесения фосфорных удобрений и фосфоритования почв в Смоленской области

(Смоленская область в цифрах 2017: Краткий стат. сб. / Смоленскстат. Смоленск, 2017)

Ситуация с содержанием в почве подвижного калия складывается хуже, чем фосфора. Средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных почвах в годы интенсивной химизации, когда внесение калийных удобрений достигло 56–60 кг/га д. в., повысилось с 77 мг/кг в 1965–1970 гг. до 115 мг/кг в 1986–1990 гг. (табл. 3). К 2015 г. сокращение объемов внесения калийных удобрений до 1,5–2 кг д. в. на 1 га посева привело к существенному обеднению почвы калием, и содержание его в почве вернулось к уровню 70-х годов прошлого века (91 мг/кг). Для восполнения этих потерь необходимо сверх выноса урожаями внести 140–160 кг/га K₂O. Особенно низкое содержание калия отмечено в почвах Ершичского, Глинковского и Угранского районов (56–69 мг/кг). В целом по области насчитывается 54% почв с низким и очень низким его содержанием (менее 80 мг/кг почвы).

Большую роль в жизни растений играют микроэлементы, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях и выполняют важную функцию повышения устойчивости продукционного процесса к неблагоприятным условиям. Почвы Смоленской области характеризуются низким содержанием цинка (1,43 мг/кг), средним – бора, меди и марганца (0,45, 2,08 и 59,3 мг/кг соответственно).

Основой научно обоснованной системы удобрения является баланс питательных элементов, позволяющий контролировать и прогнозировать изменение плодородия почвы.

К 1986–1990 гг., когда химизация земледелия в Смоленской области достигла максимального уровня, баланс питательных элементов был слабоположительным. Начиная с 1991 г. вынос их урожаями стал превышать поступление с удобрениями, и баланс стал отрицательным. К настоящему времени он составляет минус 59–65 кг/га (табл. 4). Это свидетельствует о том, что урожай сельскохозяйственных культур в основном формируется за счёт плодородия почвы. При таком балансе неминуемо дальнейшее его снижение, что повлечет за собой падение уровня урожаев и снижение качества продукции.

Таблица 4 – Баланс питательных элементов в почвах Смоленской области (сумма НРК), кг/га д. в. (данные ГСАС Смоленская)

Показатель	1986-1990 гг.	1991-1995 гг.	1996-2000 гг.	2001-2005 гг.	2006-2010 гг.	2011-2015 гг.	2016 г.
Внесено с удобрениями	190,9	91,6	22,9	20,1	27,0	25,1	31,5
Вынос урожаями	183,6	189,8	108,2	81,9	78,8	84,1	96,6
Баланс, кг/га	+ 7,3	-98,2	-85,3	-61,8	-51,8	-59,0	-65,1

Следовательно, предотвращение дальнейшей деградации плодородия почв невозможно без возобновления работ по известкованию и фосфоритованию кислых почв, без наращивания объёмов применения органических и минеральных удобрений, использования соломы и других источников пополнения органического вещества в почве и вовлечения азота в

биологический круговорот путем расширения посевов бобовых и бобово-злаковых многолетних трав, сидеральных культур.

Важным вопросом в организации питания растений является соотношение питательных элементов. В применяемых удобрениях в России соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ изменилось с 1:0,9:0,6 до 1:0,3:0,2 (в Смоленской области – до 1:0,17:0,17), т.е. используются преимущественно азотные удобрения (в Смоленской области – в 6 раз больше, чем фосфорные или калийные).

Дисбаланс питательных элементов влечет за собой недобор урожаев, снижение качества продукции, истощение почв, повышение угрозы вспышек грибных заболеваний растений, опасности полегания посевов и др.

Грамотное применение удобрений является основой повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур, позволяет управлять круговоротом и балансом химических элементов в земледелии, контролировать изменение плодородия почвы.

Существуют разные оценки значения удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. По данным ученых рост урожайности в США на 41% обеспечен минеральными удобрениями, остальные 59% – химическими средствами защиты растений (15–20%), более совершенной агротехникой (15%), использованием гибридов (8%), ирригацией (5%) и прочими факторами (11–18%).

Оплата удобрений урожаем в значительной степени зависит от плодородия почвы, влагообеспеченности и других, трудно регулируемых факторов. В Нечерноземной зоне России удобрения обеспечивают от 50 до 80% прироста урожая. Эта зона характеризуется высокой влагообеспеченностью и низким естественным плодородием почв. Значительные площади почв имеют повышенную кислотность, бедны подвижными формами фосфора и калия. В первом минимуме здесь, чаще всего, находится азот (на песчаных почвах – азот и калий, на торфяных – калий и медь).

По данным ВНИИА (Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии) от 1 кг азота дополнительно можно получить 4,5–8 кг зерна пшеницы, 1 кг фосфора (P_2O_5) – 4–7,3 и от 1 кг калия (K_2O) – 2,2–3,7 кг зерна. В многолетних опытах урожайность картофеля повышалась на 100–120, 50–60 и 40–50 кг от 1 кг азота, фосфора и калия соответственно. Совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений существенно повышает их эффективность. С повышением плодородия почвы и доз удобрений окупаемость 1 кг питательных элементов урожаем снижается.

Факторы, от которых зависит эффективность удобрений, многообразны. Это агрометеорологические, почвенные, агротехнические, технологические условия, а также состав и свойства удобрений, их сочетание, организационно-хозяйственные условия применения.

Агрометеорологические условия обязательно учитываются при проектировании системы удобрения. Изменчивостью погодных условий объясняется 25–60% колебаний эффективности удобрений в Нечерноземной зоне и 35–70% – в Черноземной (Федосеев А.П., 1985). Чем засушливее климат, тем в большей степени необходим учет метеорологических условий при использовании удобрений. При продвижении к юго-востоку и востоку в Европейской части в связи с усилением континентальности климата эффективность удобрений снижается. В Сибири снижение действия удобрений наблюдается с востока на запад.

Урожаи большинства сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне невысокие, и повышение их зависит, прежде всего, от уровня применения удобрений.

Климат в Нечерноземной зоне РФ в целом благоприятен для эффективного использования всех удобрений. Важнейшее условие высокой окупаемости удобрений урожаем – увлажнение почвы, которое обеспечивает растворение удобрений, подвижность ионов, благоприятное течение физико-химических, химических и биологических процессов. Годовое количество осадков в Нечерноземной зоне в 1,5–2 раза превосходит испарение.

Вероятность избыточно влажных лет – 25–30%, полузасушливых и засушливых – 12–20%. Краткосрочная и, тем более, продолжительная засуха существенно снижают эффективность удобрений.

Развитие растений, биологические свойства почвы и круговорот питательных веществ в земледелии, в конечном счете, обеспечиваются солнечной энергией. Из общего среднегодового количества солнечной энергии около 79% ее теряется на отражение. Сумма активных температур в Нечерноземной зоне колеблется от 1200 до 2200°С. В Смоленской области – 1900–2000°С. Южные районы зоны находятся в более благоприятных по количеству тепла условиях. Наибольшая отдача от удобрений наблюдается в теплые не засушливые годы. Важной задачей в земледелии является повышение коэффициента использования растениями фотосинтетически активной радиации.

Почвенные условия являются одним из основных факторов эффективности удобрений. Из всех показателей плодородия агрохимические (содержание гумуса, валовых и подвижных форм питательных макро- и микроэлементов, кислотно-основное состояние и др.) непосредственно участвуют в формировании урожая, а агрофизические и биологические условия способствуют созданию плодородия почв и формированию урожая. Агрохимические свойства почв могут служить показателем их окультуренности. Под **окультуренностью** почв понимают *степень соответствия свойств и режимов почвы требованиям культурных растений*.

По данным Географической сети ВНИИА эффективность минеральных удобрений только за счет окультуренности почв возрастает в несколько раз. На слабоокультуренных почвах высокие дозы удобрений не эффективны (Сычев В.Г., 2003).

В формировании почвенного плодородия важная роль принадлежит **гумусу**, с содержанием которого тесно связаны основные морфологические признаки почв, их водный, воздушный и тепловой режимы, важнейшие физические и физико-химические свойства. При отсутствии достаточного

количества удобрений и эффективных технологий гумус является почти единственным источником азота для растений. При удовлетворительном и высоком уровне химизации его роль ослабевает.

Прямое действие на накопление гумуса в почве оказывают органические удобрения, косвенное – минеральные. На богатых гумусом черноземах действие удобрений значительно слабее, чем на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Эффективность минеральных удобрений на почвах богатых питательными элементами, как правило, ниже, чем на среднеобеспеченных почвах.

Большое влияние на эффективность минеральных удобрений оказывает **кислотность почвы**: на сильнокислых почвах она на 35–50%, а на слабокислых – на 15–20% ниже, чем на известкованных почвах. Увеличение pH на единицу на дерново-подзолистых почвах приводит к повышению урожайности озимой пшеницы на 50%, озимой ржи – на 25%. Чем чувствительнее культура к кислотности, тем выше эффективность известкования. Следует помнить, что на почвах с нейтральной реакцией ($pH_{КСЛ} > 6,5$) снижается подвижность некоторых элементов, в частности, бора, железа, марганца, меди, поэтому возникает необходимость использования и микроудобрений.

Известкование кислых почв должно опережать применение удобрений, это обеспечивает их более высокую эффективность.

На кислых почвах с низкой обеспеченностью фосфором для повышения его содержания целесообразно применение фосфоритной муки в качестве химического мелиоранта.

Эффективность удобрений снижается на **эродированных** почвах. В Нечерноземной зоне проявляется водная и ветровая эрозия, потоки которой уносят с собой гумус и питательные элементы, снижая плодородие почвы.

Для борьбы с эрозионными процессами используют введение почвозащитных севооборотов, залужение сильноэродированных почв, лесомелиоративные мероприятия.

Следует помнить, что удобрения могут оказывать на почву как положительное, так и отрицательное воздействие: подкислять или подщелачивать почву; улучшать или ухудшать ее агрохимические и физические свойства; мобилизовать или иммобилизовать питательные и токсичные элементы; способствуют минерализации или синтезу гумуса в почве; способствуют или препятствуют химическому поглощению почвой ионов и др.

Например:

- при известковании кислых почв снижается их кислотность, повышается доступность растениям молибдена, но снижается подвижность бора, железа, меди, цинка, кобальта, марганца, алюминия, ухудшается поглощение растениями калия;

- при высоких дозах фосфорных удобрений или высоком содержании подвижных фосфатов в почве снижается усвоение растениями цинка и железа;

- избыток калия в почве приводит к высокому содержанию его в кормовых культурах, что может быть причиной заболевания животных пастбищной тетанией (нервные расстройства, судороги);

- минеральные удобрения и химические мелиоранты снижают поступление в растения токсичных металлов и радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs ;

- удобрения, особенно отходы промышленности, городских хозяйств, могут быть источником тяжелых металлов и других ксенобиотиков;

- интенсивное применение удобрений может вызвать нежелательные изменения в составе природных вод, ухудшить качество продукции. Так, обильное питание растений азотом может привести к

накоплению в продукции нитратов, снижению сроков хранения овощей; бесконтрольное использование отходов промышленного производства в качестве удобрений – к накоплению в почве и продукции тяжелых металлов.

Интенсивное и далеко не всегда грамотное применение удобрений в конце 80-х годов XX столетия вызвало к ним негативное отношение. Тогда же появились сторонники *альтернативного, биологического, адаптивного* земледелия, которые проповедовали либо полный отказ от минеральных удобрений, либо существенное снижение их использования при применении только органических удобрений и агротехнических приемов, способствующих обогащению и мобилизации питательных веществ в почве (углубление пахотного слоя, выращивание сидеральных культур, подпахотное рыхление почвы и др.). Следует отметить, что такой подход оправдывает себя лишь на почвах с высоким плодородием. В Нечерноземье таких почв мало, а те, что есть, появились за счет длительного окультуривания, в том числе с помощью использования минеральных и органических удобрений.

То, что перепашку земли плугом с бороной принято считать безопасным вмешательством в природу, а удобрения – опасным, можно объяснить привычкой людей к первому и недостатком знаний о втором. Ошибки в применении минеральных удобрений имеют гораздо бóльшие негативные последствия и обходятся дороже, чем органических, так как концентрация питательных элементов в них несравнимо выше. Здесь уместно вспомнить слова академика Д.Н. Прянишникова, который отмечал, что ***недостаток знаний нельзя заменить избытком удобрений.***

Учитывая, что высокоурожайные сорта и гибриды реализуют свой генетический потенциал лишь при условии бесперебойного снабжения питанием, значение минеральных удобрений трудно переоценить.

Речь должна идти о научно-обоснованном применении удобрений по рациональным технологическим схемам в комплексе с другими

агротехническими приемами. В качестве примера – результаты, полученные в НИИ картофельного хозяйства (табл. 5).

Таблица 5 – Действие комплекса агроприемов на урожайность картофеля на дерново-подзолистых песчаных почвах (НИИКХ, Московская область)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Без удобрений	9,1	-	-
Улучшенная агротехника	15,4	6,3	69
Удобрение	16,0	6,9	76
Улучшенная агротехника + удобрения	27,4	18,3	201

По оценке академика РАСХН В.Ф. Ладонина (1999) удобрения дают 30% урожая при интенсивном земледелии и 10% – при экстенсивном. Экстенсивное земледелие ведет к расхищению плодородия почвы и не способно обеспечить высокую продуктивность пашни.

Сопоставление уровня применения удобрений и урожайности зерновых культур показало, что увеличение количества удобрений приводит к снижению уровня колебаний урожайности по годам (табл. 6), производство становится более устойчивым и меньше зависит от погодных условий.

Таблица 6 – Применение удобрений и урожайность зерновых в РФ (Сычев, 2003)

Годы	Удобрения, кг д.в./га	Урожайность, т/га	Колебания урожайности, ± т/га
1986-1990	99	1,7	0,4
1996-2000	11	1,3	0,7

Правильное использование удобрений повышает качество продукции. Так, внесение азотных удобрений повышает содержание белка в зерне на 1,5–3%. Фосфорные и калийные удобрения способствуют накоплению крахмала в клубнях картофеля, сахара в корнеплодах сахарной свеклы, овощах, плодах, увеличению выхода тонкого и прочного волокна у прядильных культур и жира у масличных культур. Грамотное использование удобрений способствует повышению сопротивляемости растений к неблагоприятным факторам среды

(морозам, засухам, болезням, вредителям и др.), а урожайность становится более устойчивой.

Таким образом, получение высококачественной продукции растениеводства возможно только при грамотно разработанной системе удобрения, включающей использование органических и минеральных удобрений, в том числе микроудобрений, химических мелиорантов, при правильных соотношениях элементов питания, соответствующих потребностям растений и плодородию почвы, выборе наиболее подходящих форм и соблюдении сроков внесения удобрений. Например, для повышения содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы следует избегать поздних подкормок растений азотом, тогда как подкормка озимых зерновых азотом в период цветения–молочной спелости повышает содержание в зерне белка и клейковины. Крахмалистость клубней картофеля снижается при использовании удобрений, содержащих хлор. Качество льноволокна зависит от соотношения питательных элементов в удобрении, которое должно быть с преобладанием фосфора и калия над азотом.

Существенную роль в повышении эффективности удобрений имеет выбор оптимальных приемов, способов и сроков их внесения.

Действие удобрений, особенно известковых, органических, фосфорных, не ограничивается одним-двумя годами. Азотные минеральные удобрения практически не имеют последствий, слабое последствие отмечается у калийных удобрений. В зависимости от дозы, вида и почвенно-климатических условий действие фосфорных, известковых и органических удобрений может продолжаться 4–5 и даже 10 и более лет (известь, фосфоритная мука).

По данным Н.Н. Баранова и А.Н. Небольсина, каждая тонна действующего вещества удобрения сберегает 211 чел.-час. ручного труда, а каждый рубль, вложенный в удобрения, дает не менее 3–4 рублей чистого дохода.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите об изменениях урожайности сельскохозяйственных культур на историческом пути развития земледелия.
2. В чем различия путей развития земледелия в России и Западной Европе?
3. Охарактеризуйте состояние производства и применения удобрений в России.
4. Как зависит урожайность сельскохозяйственных культур от уровня применения удобрений? Приведите примеры.
5. Расскажите о состоянии плодородия почв и применении удобрений в Смоленской области.
6. Приведите примеры положительного и возможного отрицательного воздействия удобрений на почву и растения
7. Расскажите об эффективности удобрений. Какие факторы оказывают на нее влияние?

2 УДОБРЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ



Удобрения – это вещества, используемые для улучшения питания растений и повышения плодородия почв в целях повышения урожая и улучшения качества продукции растениеводства.

В настоящее время в мире применяется широкий ассортимент различных видов и форм удобрений. Это минеральные удобрения, выпускаемые химической промышленностью, местные минеральные удобрения, отходы животноводства, промышленности, коммунального хозяйства.

Удобрения могут оказывать прямое и косвенное действие на почву и питание растений. В связи с этим выделяют *прямые и косвенные* удобрения. Прямые – способствуют улучшению питания растений содержащимися в них питательными элементами. Это азотные, фосфорные, калийные и другие удобрения. Косвенные (известь, гипс) – улучшают, прежде всего, свойства почвы, что способствует питанию растений. Следует отметить, что это деление условно, так как прямые удобрения также влияют на свойства почвы, а косвенные – обеспечивают растения содержащимися в них элементами питания (кальцием, магнием, серой).

По химическому составу различают *минеральные и органические* удобрения. По месту получения и происхождения – *промышленные, местные и нетрадиционные* – отходы промышленности и коммунального хозяйства. Общая схема классификации удобрений представлена на рисунке 7.

Удобрения могут содержать один или несколько питательных элементов. В первом случае их называют *простыми или односторонними*, во втором – *комплексными, или многосторонними*. Удобрения, содержащие макроэлементы, называют *макроудобрениями*, а микроэлементы – *микроудобрениями*.

По агрегатному состоянию удобрения могут быть *твердыми* (порошковидными, гранулированными, кристаллическими), *жидкими*

(растворами, суспензиями) и *газообразными* (например, углекислый газ, который используется в защищенном грунте для улучшения фотосинтеза у растений).

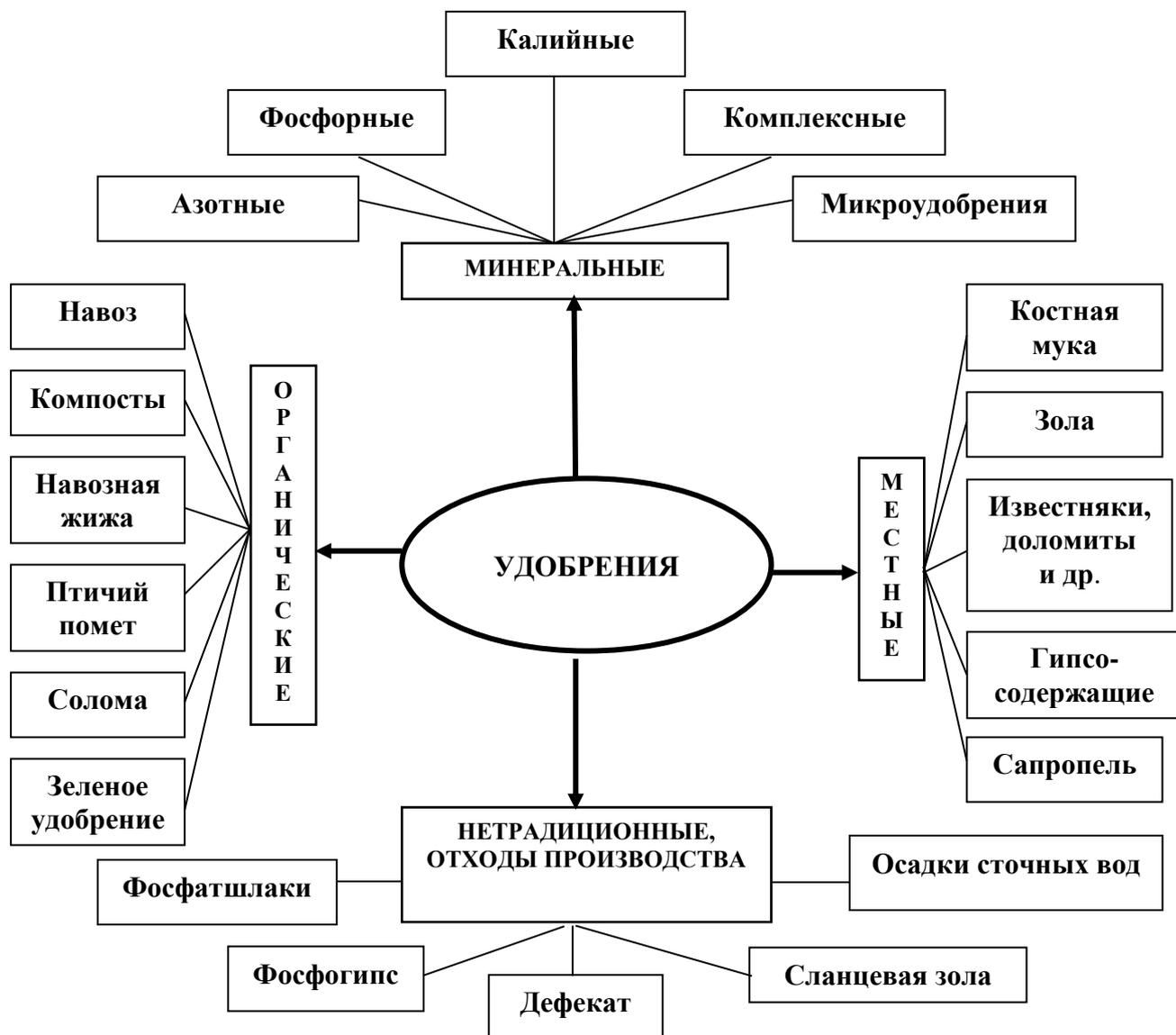


Рисунок 7 – Классификация удобрений

2.1 МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

2.1.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Физико-механические и химические свойства минеральных удобрений влияют на условия их складского хранения, транспортировки, внесения в почву.

Влажность – содержание в удобрении влаги не связанной химически и не хемосорбированной. Для каждого удобрения существуют ГОСТ или ТУ по содержанию влаги. Например, содержание влаги в удобрениях не должно превышать: в мочеvine – 0,3%, сульфате аммония – 0,6, аммиачной селитре – 0,2–0,3, кальциевой селитре – 14,0, аммофосе – 1,0, калийных удобрениях – от 1–4 до 5,6, известняковой муке – 1,5–4%. При повышенной влажности минеральных удобрений ухудшаются их физико-механические свойства, снижается качество.

Гигроскопичность – способность материала поглощать влагу из окружающей среды. При сильной гигроскопичности удобрения слеживаются, ухудшается их сыпучесть, рассеиваемость, гранулы теряют прочность. Гигроскопичность оценивается по 10-ти балльной шкале. Удобрения с сильной гигроскопичностью – кальциевая селитра (9,5 баллов), аммиачная селитра (9,3 балла). Слабую гигроскопичность имеют хлористый калий (3,2–4,4 балла), сульфат калия (0,2 балла), гранулированный двойной суперфосфат (4,7 балла). Удобрения, имеющие балл гигроскопичности 7–10, перевозят и хранят только в водонепроницаемой таре (например, в полиэтиленовых мешках). Без тары допускается перевозить и хранить только те удобрения, балл гигроскопичности которых не превышает 3 единиц.

Влагоемкость – влияет на качество рассеивания удобрений и регламентируется стандартами. Различают *предельную* и *буферную* влагоемкость. *Предельная влагоемкость* соответствует предельной влажности удобрения, при которой сохраняется возможность удовлетворительного внесения его туковыми сеялками. *Буферная влагоемкость* определяет

количество влаги, которое может быть добавлено к стандартному по влажности удобрению без ухудшения его способности рассеиваться. Этот показатель особенно важен для гигроскопичных удобрений.

Слеживаемость – свойство минерального удобрения образовывать фазовые контакты сцепления между частицами при определенных внешних условиях. Она зависит от влажности, гигроскопичности, растворимости, химического и гранулометрического состава удобрения, размера и формы частиц, их механической прочности, давления в слое удобрения, продолжительности и условий хранения.

Слеживаемость оценивается по 7-ми балльной шкале по сопротивлению цилиндрика слежавшегося удобрения к разрушению. Повышенная слеживаемость у гигроскопичных, порошковидных, водорастворимых удобрений, а среди гранулированных – у удобрений с низкой прочностью гранул.

Сильно слеживается простой порошковидный суперфосфат и карбамид с гранулами 0,2–1 мм (7 баллов), мелкокристаллический хлористый калий (6 баллов), аммиачная селитра (3–4 балла), слабо слеживается – сульфат аммония (2–3 балла), карбамид с размером гранул 1–3 мм (1–2 балла), практически не слеживается сульфат калия, калимагнезия (1 балл).

Способы снижения слеживаемости удобрений:

- выпуск гранулированных форм с минимальным содержанием влаги;
- получение прочных гранул;
- защита удобрений от попадания влаги (хранение на складах, герметичность тары, транспортных средств, выпуск капсулированных форм удобрений и др.);
- охлаждение удобрений перед затариванием или складированием на заводах.

Рассеиваемость – подвижность частиц при их внесении. Оценивается по 12-ти балльной шкале: чем лучше рассеивается, тем выше балл. Этот

показатель важен для равномерного распределения удобрения по поверхности почвы. Рассеиваемость зависит от сыпучести удобрения, гранулометрического состава и прочности гранул.

Сыпучесть – свойство минерального удобрения свободно сыпаться под воздействием гравитационных сил. От сыпучести зависит равномерность поступления удобрения на дозирующее устройство при его внесении.

Гранулометрический (фракционный) состав – процентное соотношение фракций гранул разного размера. Регламентируется ГОСТом. Определяется при механическом ситовом анализе удобрений. В гранулированных удобрениях не должно быть очень мелких и очень крупных частиц, средний размер частиц обычно 1–4 мм. От гранулометрического состава зависит слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При отклонении от требований в процессе внесения более крупные, тяжелые частицы отлетают на большее расстояние, чем мелкие, что сказывается на равномерности распределения удобрения по поверхности почвы. Сохранность гранулометрического состава зависит от прочности гранул.

Прочность гранул – свойство гранул минерального удобрения, характеризующее его способность сохранять размеры и форму под воздействием внешних сил. Она зависит от влажности удобрения, размера, формы кристаллов, плотности их упаковки, длительности хранения удобрения. Различают *динамическую, статическую прочность и прочность на истирание*.

Динамическая прочность – характеризуется числом разрушенных гранул при падении с определенной высоты и ударе о твердую поверхность.

Статическая прочность – характеризуется силой, которую нужно приложить к гранулам при одноосном сжатии между двумя параллельными плоскостями до их разрушения.

Прочность на истирание – определяется степенью разрушения гранул под воздействием сил трения. Характеризуется количеством пыли, образовавшейся при взаимном трении гранул.

Насыпная плотность – масса единицы объема (т/м^3) или объем единицы массы ($\text{м}^3/\text{т}$). Используется при транспортировке удобрений и проектировании складских помещений, бункеров. Наименьшая плотность у хлористого аммония и мочевины – $0,58\text{--}0,65 \text{ т/м}^3$, наибольшая – у томасшлака, известняковой и фосфоритной муки – $1,62\text{--}2,01 \text{ т/м}^3$. Зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления верхних слоев при хранении.

Угол естественного откоса (покоя) – угол образующей конуса свободно насыпанного минерального удобрения с горизонтальной плоскостью. Он важен при работе с удобрениями, которые можно транспортировать и хранить бестарным способом. Служит косвенным показателем способности удобрений рассеиваться: чем меньше угол естественного откоса, тем выше способность к рассеиванию. Используется при строительстве складов, проектировании бункеров, транспортных средств.

Свободная кислотность (щелочность) – характеризует наличие свободной кислоты (щелочи) в составе удобрения. Регламентируется ГОСТом. Кислота (щелочь) приводит к преждевременному износу техники вследствие коррозии металлов.

Для тукосмесей важна **однородность состава и расслаиваемость** (сегрегация), которые регулируются соблюдением правил смешивания удобрений.

Некоторые удобрения являются **ядовитыми, огне- и взрывоопасными**. Например, аммиачная селитра является сильным детонатором, смесь аммиака с воздухом – взрывоопасна. Сам аммиак – ядовит, вызывает поражение слизистых тканей, кожных покровов. При неправильном хранении и смешивании удобрений возможно выделение аммиака. Эти свойства учитывают при организации хранения и использования удобрений.

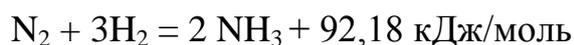
2.1.2 СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ

Известковые удобрения. Сырьем для получения известковых удобрений служат твердые известковые породы – известняки, доломиты, доломитизированные известняки, мел. Из них путем механического размола или обжига получают известковые удобрения (известняковую или доломитовую муку, гашеную известь). В качестве известковых удобрений используют также природные мягкие известковые породы и отходы промышленности с большим содержанием кальция.

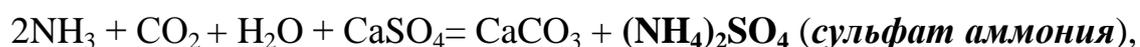
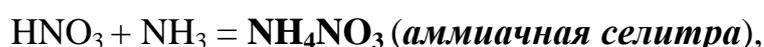
Азотные удобрения. До начала XX века в качестве минеральных азотных удобрений использовались природные залежи чилийской селитры – NaNO_3 (Чили, Калифорния, юго-запад Африки). Запасы ее быстро иссякли.

Первое синтетическое азотное удобрение было произведено в Норвегии и получило название «норвежская селитра» – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Из-за отсутствия дешевой электроэнергии способ ее получения не нашел широкого распространения. Кроме того, удобрение имело высокую гигроскопичность.

Азотнотуковая промышленность получила бурное развитие после того, как был найден способ получения синтетического аммиака из азота и водорода:



Процесс получения аммиака идет в присутствии катализатора – промотированного железа (содержит несколько процентов промоторов – Al_2O_3 и K_2O) при высоком давлении (32,4 МПа) и температуре (390–520 °С). Полученный аммиак окисляют до азотной кислоты. Аммиак и азотная кислота являются основными исходными продуктами для получения азотных и комплексных удобрений, содержащих азот. Например:



Используемая в настоящее время **натриевая селитра** (NaNO_3) является побочным продуктом при производстве азотной кислоты, **кальциевая селитра** получается путем нейтрализации азотной кислоты мелом или известью, а также является побочным продуктом при получении комплексного удобрения нитрофоски. Сжижением газообразного аммиака под давлением (0,9 МПа) получают самое концентрированное азотное удобрение (82,3% N) **безводный аммиак** (NH_3), растворяя аммиак в воде – **аммиачную воду**, смешивая растворы мочевины и аммиачной селитры, получают удобрение под названием **КАС (или азотные растворы)**.

Азотная кислота и аммиак используются для получения комплексных удобрений – **нитрофоски, нитрофоса, нитроаммофоски, нитроаммофоса, аммофоса** и др.

Конденсацией мочевины и формальдегида (CH_2O) получают медленнодействующее **мочевино-формальгидное удобрение (МФУ)**.

Фосфорные удобрения. Исходным сырьем для получения фосфорных удобрений служат природные фосфатные руды: **апатиты** и **фосфориты**.

Ежегодная мировая добыча фосфатного сырья в настоящее время составляет около 140 млн т концентрата, 80 % которого идет на производство минеральных удобрений, 12 – на получение моющих средств, 5 – на кормовые добавки в животноводстве и 3% – на продукты специального назначения (пищевые добавки, средства обработки металла и др.).

Апатиты – породы эндогенного происхождения (рис. 8). Самые крупные запасы апатитов в нашей стране открыты в 1925 г. на Кольском полуострове. Это единственное действующее уникальное месторождение апатитовых руд с запасами 640 млн т P_2O_5 .

Эмпирическая формула апатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ или $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \cdot \text{CaF}_2$. Фторид кальция может замещаться хлоридом, карбонатом или гидроксидом кальция. В связи с этим различают фтор-apatит, хлор-apatит, карбонат-apatит, гидроксил-apatит.



Рисунок 8 – Апатит

Спутником апатита является минерал нефелин (алюмосиликат). После освобождения породы от нефелина получают апатитовый концентрат с содержанием до 40% P_2O_5 . Это лучшее в мире сырье для производства водорастворимых фосфорных удобрений, на его долю приходится около 90% потребляемого в России фосфатного сырья.

Фосфориты – осадочная порода. По химическому составу они схожи с апатитами, но отличаются большей пористостью и мелкокристаллической структурой.

Выделяют несколько видов фосфоритов: *желваковые (конкреционные)* в виде окатанных камней, *пластовые (массивные)*, имеющие слитую массу, и *зернистые (ракушечниковые)* фосфориты (рис. 9, 10, 11).



Рисунок 9 – Фосфорит желваковый



Рисунок 10 – Фосфорит пластовый



Рисунок 11 – Фосфорит ракушечный

Крупные месторождения фосфоритов находятся в США, Северной Африке. Фосфориты широко распространены и в СНГ. Это Вятско-Камское, Егорьевское, Щигровское месторождения, фосфориты Каратау (Южный

Казахстан). Есть фосфориты в Воронежской, Тамбовской, Орловской, Смоленской, Брянской, Калужской области.

На территории Смоленской области единственным крупным разведанным месторождением фосфоритов (с общим запасом руды 10 млн т) является Сожское. Оно расположено в Хиславичском районе и разрабатывалось в 1930–1941 гг. Месторождение состоит из 12 участков, среди которых наиболее перспективными для открытой разработки являются Романёк, Чепникова Лука, Стайки, Грязь, Бахаревка с общими запасами 5 млн т руды. Содержание фосфора в фосфоритовом концентрате составляет 14–18,5% при содержании в руде – 3,5–8%. Эксплуатация этого месторождения по оценкам НТС Минсельхозпрода (2000 г.) может позволить выпускать 100 тыс. т фосфоритной муки в год, что обеспечит ежегодное фосфоритование кислых почв на площади 50 тыс. га. При дополнительном внесении в рядки водорастворимых фосфорных удобрений (15–20 кг/га P_2O_5) фосфоритование повысит продуктивность каждого гектара на 25–30 %.

Общий недостаток фосфоритов – низкая концентрация фосфора и высокое содержание полуторных окислов, затрудняющих их переработку в суперфосфат. Разрушение кристаллического строения фосфатного сырья с переводом его фосфора в растворимое состояние достигается химическим или термическим способом.

Можно выделить следующие направления переработки фосфатного сырья в удобрения:

- 1) механический размол фосфоритов с получением **фосфоритной муки**;
- 2) кислотное разложение апатитового и фосфоритового концентрата:
 - серной кислотой с получением **простого суперфосфата** и **экстракционной фосфорной кислоты**;
 - фосфорной кислотой с получением **двойного суперфосфата**;
 - азотной кислотой с получением **нитрофосок** и **нитрофосов**;
- 3) термическое разложение сырья:

– в присутствии SiO_2 и паров воды с получением *обесфторенного фосфата*;

– в электропечах с коксом или антрацитом при температуре 1400 – 1600 °С с получением *элементного фосфора*, с содержанием действующего вещества 229% в пересчете на P_2O_5 .

К новым способам переработки фосфатного сырья относятся *механохимическая активация* и *неполное кислотное разложение*. При последнем получают *суперфос*, содержащий до 50% общего фосфора в усвояемой форме.

В качестве фосфорных удобрений можно использовать отходы металлургической промышленности – *фосфатшлаки*.

Калийные удобрения. Сырьем для производства калийных удобрений являются природные калийные соли, география месторождений которых достаточно обширна. Промышленные месторождения калийных руд расположены в России, Украине, Белоруссии, Казахстане, ФРГ, Франции, США, Канаде, Израиле, Италии, Польше, Великобритании.

Для производства калийных удобрений используется: сильвинит ($m \text{KCl} \cdot n \text{NaCl}$), карналлит ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), шенит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), лангбейнит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$).

Основные запасы калийных руд в СНГ представлены хлоридными солями, главным образом – сильвинитом (рис. 12).



Рисунок 12 – Сильвинит

Крупнейшие месторождения его находятся в России (Верхнекамское) и в Белоруссии (Солигорское или Белорусское). Залежи сульфатных калийных солей находятся в Саратовской, Оренбургской области и в Башкирии (Заволжское месторождение). Есть месторождение сульфатных калийных руд на Украине – в Ивано-Франковской и Львовской областях.

В качестве калийных удобрений могут быть использованы и другие минералы, содержащие калий: алюмосиликат калия и натрия (нефелин) – спутник апатита в Хибинском месторождении, а также кварцглауконитовые пески – спутники фосфоритов.

Основные направления переработки калийных руд:

1) механический размол с получением сырых калийных солей **сильвинита** и **каинита**;

2) методы, основанные на отделении KCl от $NaCl$:

– *флотационный* – основан на различии в смачивании сильвина (KCl) и галита ($NaCl$). Во флотационную жидкость (пульпу) помещают измельченную породу. Реагент-собиратель пульпы (алифатические амины, жидкое стекло) адсорбируется на поверхности кристаллов сильвина. При пропускании через пульпу воздуха сильвин всплывает в виде пены, которую собирают и подвергают сушке. Так получают высококонцентрированное калийное удобрение **хлористый калий** (KCl), содержащий 58–60 % K_2O . Это главное калийное удобрение в России. Оно имеет маркировку на упаковке «Ф»;

– *метод перекристаллизации* – основан на различной растворимости KCl и $NaCl$ при повышении температуры. Растворимость KCl при температуре 100 °С вдвое выше, чем при 0 °С, а для $NaCl$ в указанном интервале температур она изменяется гораздо слабее. Размолотый сильвинит растворяют при температуре 110 °С в щелоке, представляющем собой насыщенный раствор $NaCl$. В нем растворяется только KCl сильвинита. При последующем охлаждении полученного раствора

выпадают в осадок кристаллы KCl. Удобрение содержит 57–62% K₂O, является более чистым, имеет маркировку «К»;

– *гидроциклонный метод* основан на различной плотности хлористого калия и хлористого натрия (1,99 и 2,17 г/см³, соответственно). При помещении раздробленного сильвинита в суспензию вещества с плотностью между 1,99 и 2,17 г/см³ кристаллы хлористого калия всплывают, а хлористого натрия – оседают на дно. Используется аппарат гидроциклон, в котором под действием центробежной силы происходит быстрое разделение солей: KCl выносятся через верх аппарата, а NaCl – через нижнее выводное отверстие.

3) Смешивание хлористого калия с сырыми калийными солями – сильвинитом (**40 %-ная калийная соль**) и каинитом (**30 %-ная калийная соль**).

4) На принципах удаления из сырья ненужного компонента основано получение **калимага**.

В качестве калийных удобрений можно использовать отходы промышленности: **цементную пыль** (отход производства цемента), **золу**, являющуюся калийно-фосфатно-известковым удобрением.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое действующее вещество, вид, форма удобрения?
2. По каким признакам классифицируют удобрения? Какими они бывают по агрегатному состоянию?
3. От каких свойств минеральных удобрений зависит равномерность распределения их по поверхности поля при внесении?
4. Перечислите способы снижения слеживаемости удобрений. Как ее определяют?
5. Что такое прочность гранул? Какие виды прочности гранул различают?
6. Назовите удобрения с высокой гигроскопичностью, высокой слеживаемостью.
7. Из какого сырья получают известковые удобрения?
8. Назовите основное сырье для получения азотных удобрений. Как получают азотные удобрения?
9. Перечислите основные месторождения фосфатных руд.
10. Назовите основные направления переработки фосфатных руд в удобрения.
11. Какое сырье используется для получения калийных удобрений?
12. Перечислите основные месторождения калийных руд в СНГ.
13. Назовите основные способы переработки калийных руд в удобрения.

2.1.3 ПРОБЛЕМА КАЛЬЦИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Кислотность и буферная способность почв. Почва имеет определенную реакцию, носителем которой могут быть почвенный раствор и почвенные коллоиды. Кислотность почвы обусловлена наличием ионов водорода и алюминия в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе (ППК). В зависимости от места их нахождения различают актуальную и потенциальную кислотность почвы.

Актуальная кислотность обусловлена повышенным содержанием в почвенном растворе ионов водорода (H^+) по сравнению с ионами гидроксила (OH^-). Она определяется в водной вытяжке из почвы и измеряется величиной рН, которая обозначает отрицательный логарифм концентрации H^+ в растворе. Чем ниже значение рН, тем выше кислотность.

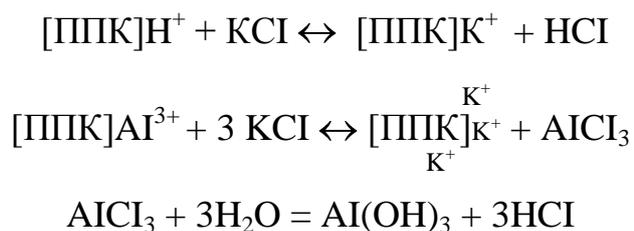
При нейтральной реакции концентрация ионов H^+ и OH^- одинакова – 10^{-7} мг/дм³ раствора, т.е. рН раствора 7. Если рН больше 7,0 – реакция щелочная, если рН меньше 7,0 – реакция раствора кислая.

Реакция водной вытяжки разных почв колеблется от рН 3–3,5 (верховые торфяники) до рН 9–10 (солонцовые почвы). Щелочную реакцию имеют черноземы и каштановые почвы (рН 7,5), сероземы (рН до 8,5) и солонцы (рН до 9,0 и более). Близкая к нейтральной реакция (рН 6,5–7) у обыкновенного и мощного черноземов; слабокислая реакция (рН 5,5–6,5) у выщелоченных черноземов и серых лесных почв; подзолистые и дерново-подзолистые почвы, красноземы и желтоземы имеют средне- и сильнокислую реакцию (рН 4–5 и ниже). Кислая реакция характерна для почв не насыщенных основаниями. Значительная территория России представлена такими почвами.

Актуальная кислотность оказывает непосредственное влияние на растения. Она тесно связана с потенциальной кислотностью.

Потенциальная кислотность почвы обусловлена наличием ионов водорода и алюминия в поглощенном ППК состоянии. По силе связи этих ионов с ППК различают обменную и гидролитическую кислотность.

Обменная кислотность обусловлена наличием в ППК ионов водорода и алюминия, способных вытесняться растворами нейтральных солей. Например:



На почвах, богатых органическим веществом, обменная кислотность обусловлена преимущественно ионами водорода, а на бедных гумусом минеральных почвах – и ионами алюминия.

Обменную кислотность чаще выражают символом рН солевой вытяжки (рН_{KCl}), иногда – в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы (мг-экв/100 г). В солевую вытяжку (1 н раствор KCl) выходят также ионы водорода, обуславливающие актуальную кислотность, поэтому величина рН_{KCl} всегда меньше, чем рН_{H2O}, т.е. обменная кислотность всегда больше актуальной. Величина рН_{KCl} пахотного слоя дерново-подзолистых почв колеблется от 4 до 6, на хорошо окультуренных почвах повышается до 5,5–6,2.

Обменная кислотность характерна для дерново-подзолистых, серых лесных почв, выщелоченных и оподзоленных черноземов, красноземов. Это скрытая кислотность, но при переходе ионов водорода и алюминия из ППК в почвенный раствор в обмен на другие катионы оказывает отрицательное влияние на развитие растений. Особенно вредно действует алюминий.

рН_{KCl} служит для оценки степени кислотности почв, нуждаемости их в известковании и определения дозы извести. По величине рН_{KCl} почвы группируют следующим образом: при рН менее 4,5 – почва сильнокислая, при рН 4,6–5,0 – среднекислая, при рН 5,1–5,5 – слабокислая, при рН 5,6–6,0 – близкая к нейтральной и при рН от 6,1 до 7,0 – реакция нейтральная.

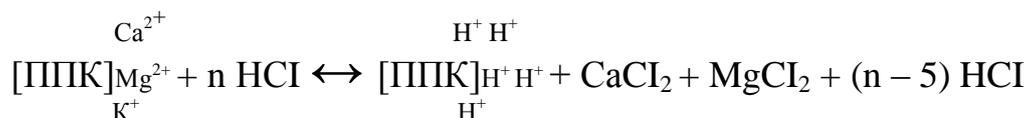
Нейтральная соль вытесняет из поглощенного состояния не весь водород, часть его ионов более прочно связана с коллоидами и может быть вытеснена гидролитически щелочной солью, (например CH₃COONa).

Гидролитическая кислотность (H_g) обусловлена наличием в поглощенном состоянии ионов водорода, способных обмениваться на катионы гидролитически щелочной соли. При этом определяется вся кислотность почвы, как актуальная, так и потенциальная, поэтому гидролитическая кислотность по величине значительно больше обменной. Ее выражают в мг-экв/100 г почвы.

Гидролитическая кислотность появляется при обеднении почвы основаниями. Собственно гидролитическая кислотность при отсутствии обменной кислотности не вредна для растений. Она имеется в большинстве черноземов (за исключением южных), в то время как обменная кислотность в них отсутствует или составляет небольшую величину.

В дерново-подзолистых почвах гидролитическая кислотность может быть значительной при сильно выраженной обменной кислотности.

Сумма поглощенных (обменных) оснований (S) определяется при обработке почвы избытком 0,1 н соляной кислоты (HCl):



Емкость поглощения (емкость катионного обмена – T) характеризуется общим количеством поглощенных почвой катионов, ее определяют сложением суммы поглощенных оснований (S) и гидролитической кислотности (H_g) и выражается в мг-экв на 100 г почвы:

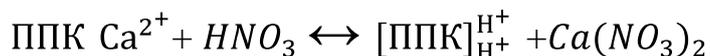
$$T = S + H_g$$

Зная емкость поглощения и сумму поглощенных оснований, можно определить **степень насыщенности почвы основаниями** (V , %), которая является дополнительным показателем степени кислотности почвы и нуждаемости ее в известковании. Степень насыщенности основаниями показывает, какая доля емкости поглощения почвы приходится на основания и выражается в процентах:

$$V = \frac{S}{T} \times 100, \quad \text{или} \quad V = \frac{S \times 100}{S + H_g}$$

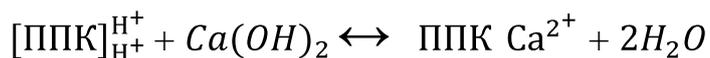
Чем выше степень насыщенности основаниями, тем лучше агрономические свойства почвы. Чем меньше степень насыщенности основаниями (при одинаковой абсолютной величине кислотности), тем сильнее потребность почвы в известковании. Дерново-подзолистые слабоокультуренные почвы имеют степень насыщенности основаниями менее 50%, хорошо окультуренные – выше 70%.

Буферная способность почвы – это способность ее противостоять изменению реакции среды в сторону подкисления или подщелачивания (например, при внесении физиологически кислых или физиологически щелочных удобрений, известковании кислых почв). Буферная способность почв зависит от емкости поглощения и степени насыщенности почвы основаниями. Чем выше емкость поглощения почвы, тем сильнее ее буферная способность. Поглощенные основания (кальций, магний и др.) противодействуют изменению реакции почвы в сторону кислого интервала, а ионы водорода – в сторону подщелачивания. В почвах, насыщенных основаниями происходит нейтрализация свободных кислот кальцием, вытесняющимся водородом из поглощенного состояния:



Почвы, насыщенные основаниями (черноземы, сероземы), имеют высокую буферность против подкисления.

В почвах, не насыщенных основаниями происходит нейтрализация щелочи путем поглощения ее катиона в обмен на ионы водорода, которые связывают ионы OH^- с образованием воды:



Такие почвы устойчивы к подщелачиванию и не могут противостоять подкислению. Способность почв противостоять подкислению повышается при внесении извести, органических удобрений и при посеве бобовых культур. Чем больше в почве гумуса, чем тяжелее почва по гранулометрическому составу,

тем выше ее буферная способность и больше требуется извести для нейтрализации кислотности.

Отношение сельскохозяйственных культур к реакции почвенной среды. По отношению к кислотности почвы и отзывчивости на известкование сельскохозяйственные культуры можно подразделить на следующие 5 групп:

1 – культуры, очень чувствительные к повышенной кислотности и сильно отзываемые на известкование даже слабокислых почв: *люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, капуста, конопля*. Для них оптимум $pH_{КСИ}$ находится в узком интервале от 7 до 7,5;

2 – чувствительными к повышенной кислотности являются *пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, горох, фасоль, бобы, клевер, огурец, лук, салат*. Они лучше растут при реакции почвы близкой к нейтральной ($pH_{КСИ}$ 6–7) и хорошо отзываются на известкование не только сильно- и среднекислых, но и слабокислых почв;

3 – культуры, слабо чувствительные к повышенной кислотности: *рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, редис, морковь, томат*. Для них наиболее благоприятной является слабокислая реакция среды ($pH_{КСИ}$ 5,5–6), но они могут удовлетворительно расти в широком интервале $pH_{КСИ}$ (4,5–7,5). Эти культуры хорошо отзываются на известкование сильно- и среднекислых почв;

4 – культуры, которые нуждаются в известковании только средне- и сильнокислых почв: *лен, картофель*. Картофель мало чувствителен к повышенной кислотности и может расти при довольно широком интервале $pH_{КСИ}$ (4,5 – 6,3). Оптимальный уровень $pH_{КСИ}$ для льна – 5,5–6,5. Известкование высокими дозами вызывает поражение картофеля паршой, а льна – бактериозом. В клубнях картофеля снижается содержание крахмала, у льна ухудшается качество волокна. Это объясняется не столько снижением кислотности почвы, сколько высокой концентрацией ионов кальция и расширением соотношений Са:Мg и Са:К, приводящим к затруднению поступления в растения калия и магния, а также снижением подвижности бора;

5 – культуры, которые предпочитают кислые почвы и проявляют повышенную чувствительность к избытку в почве водорастворимого кальция: *люпин, сераделла, щавель*. В известковании кислых почв эти культуры не нуждаются, так как растут при $pH_{КС1}$ 4,5–6,0.

Существует и сортовая отзывчивость сельскохозяйственных культур на известкование кислых почв. Так, сорта пшеницы, ячменя, клевера, родом из районов с черноземными нейтральными почвами, более чувствительны к кислотности почвы, чем сорта из районов с дерново-подзолистыми кислыми почвами.

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

Сельскохозяйственные культуры различаются также по чувствительности к подвижному алюминию и марганцу в почвах. Причем, реакция их на кислотность и содержание алюминия и марганца неоднозначна. Например, *лен* устойчив к кислотности почвы, но очень чувствителен к подвижным формам алюминия и марганца, *кукуруза* – наоборот, устойчива к алюминию, но чувствительна к кислотности почвы. Есть культуры одновременно чувствительные как к кислотности, так и к содержанию подвижного алюминия и марганца (*капуста, сахарная и столовая свекла* и др.).

По чувствительности к подвижному алюминию выделяют четыре группы культур:

1 – наиболее чувствительные культуры: *сахарная и столовая свекла, люцерна, клевер, озимая пшеница, озимая рожь*;

2 – чувствительные культуры: *лен, горох, фасоль, гречиха, ячмень, яровая пшеница*;

3 – устойчивые культуры: *люпин, картофель, кукуруза, просо*;

4 – высокоустойчивые культуры: *овес, тимофеевка*.

По чувствительности к подвижному марганцу выделяют три группы сельскохозяйственных культу.

1 – очень чувствительные культуры – *озимая рожь, озимая пшеница, свекла, лен, люцерна*;

2 – чувствительные культуры – *яровая пшеница, ячмень, горох, вика, капуста, рапс, картофель, клевер, кукуруза, турнепс, брюква, морковь, огурец, лук, томат*;

3 – относительно устойчивые культуры – *овес, тимофеевка, клевер ползучий, овсяница луговая*.

Таким образом, содержание подвижных форм алюминия и марганца является дополнительным показателем нуждаемости почв в известковании.

Влияние известкования на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Радикальным способом борьбы с кислотностью почв является известкование – внесение в почву Са (Mg) в виде карбонатов, оксидов или гидроксидов. Известкование не только снижает кислотность, содержание подвижного алюминия и марганца, но и улучшает агрохимические, агрофизические и биологические свойства почв, снабжение растений кальцием и магнием.

В кислых почвах ослаблена или прекращается нитрификация, азотфиксация, разложение органического вещества, что приводит к ухудшению питания растений азотом, хорошо развиваются преимущественно плесневые грибы (*Penicillium, Fuzarium, Trichoderma*), которые выделяют ядовитые для растений вещества. В кислых почвах растворимые фосфаты связываются полуторными окислами алюминия и железа, что приводит к ухудшению питания растений фосфором. В таких почвах выражен недостаток кальция и магния и высока подвижность алюминия и марганца, микроэлемент молибден (Mo) находится в труднодоступных для растений формах, поэтому ограничены процессы симбиотической и не симбиотической фиксации азота. В этих условиях возможна смена фитоценоза, остаются преимущественно устойчивые к кислотности виды растений.

Установлено, что токсичность $[H^+]$ проявляется при значениях pH 3,5–4,0. При средних значениях pH на растения действуют в основном вторичные

факторы – изменение форм питательных веществ, состояние растворимости соединений, токсичных для растений и др.

Начало работ по известкованию кислых почв относят к первой половине XIX столетия. В 1865 г. вышла диссертация И.А. Стебута «Известкование почв». Развитие научной основы известкования кислых почв связано с работами К.К. Гедройца, учением о почвенном поглощающем комплексе. Большой вклад в развитие теории известкования внесли О.К. Кедров–Зихман, П.А. Костычев, А.Н. Энгельгардт, Д.Н. Прянишников и другие ученые.

Действие известки на почву – многосторонне. Под ее влиянием снижается кислотность, содержание подвижных форм алюминия и марганца, улучшается катионный состав ППК, повышается сумма поглощенных оснований и степень насыщенности почв основаниями. Так как кальций оказывает коагулирующее действие на почвенные коллоиды, улучшается структура почвы.

Известкование приводит к повышению жизнедеятельности полезных микроорганизмов – аммонификаторов, нитрификаторов, азотфиксаторов, создаются благоприятные условия для деятельности силикатных бактерий, разлагающих труднодоступные для растений калийсодержащие минералы. Количество же грибов, наоборот, уменьшается, например, погибает возбудитель килы, повреждающий корневую систему растений семейства *Капустные*, меньше распространяется фитофтора. При известковании повышается подвижность молибдена.

В кислых почвах фосфор преимущественно связан с алюминием и железом и находится в труднодоступных для растений соединениях. При известковании образуются более доступные для растений фосфаты кальция, а алюминий и железо переходят в неподвижное состояние. Повышается степень подвижности фосфатов и коэффициент использования их растениями. Поэтому при известковании почвы дозы внесения фосфорных удобрений можно несколько уменьшить. То же относится и к азотным удобрениям. Таким образом, известкование кислых почв улучшает их азотный, фосфорный и калийный режимы и питание растений молибденом.

За счет известкования улучшается экологическое состояние почвы – тяжелые металлы образуют нерастворимые соединения, радионуклиды, особенно ^{90}Sr , меньше переходят в растения из-за антагонизма с кальцием. Известкование повышает эффективность минеральных удобрений на 30–40%.

Вместе с тем, при повышении содержания в почве кальция из-за антагонизма ионов затрудняется поступление в растения калия. В этих условиях необходимо повышать дозы калийных удобрений. Это особенно важно для калиелюбивых культур – картофеля, льна, капусты и др. Кроме того, при известковании снижается подвижность бора, меди, цинка, марганца (кроме молибдена), что может существенно ограничить поступление их в растения. Поэтому в условиях известкования больше внимания следует уделять применению микроудобрений.

Известкование улучшает не только агрохимические свойства и пищевой режим почв, но и их физические свойства: возрастает количество водопрочных агрегатов, снижается плотность почвы, повышается ее влагоёмкость и гигроскопичность. При этом создаются лучшие условия аэрации, почва быстрее прогревается, улучшается водный режим. При систематическом известковании легкие почвы становятся более связными, а тяжелые – более рыхлыми. Это уменьшает тяговое усилие машин при их обработке.

Эффективность известкования кислых дерново-подзолистых почв на разных культурах проявляется по-разному (табл. 7), но всегда способствует развитию здоровых растений, способных противостоять повреждениям болезнями и вредителями, активно конкурировать с сорной растительностью за счет интенсивного роста. Под действием извести меняется видовой состав сорных растений, так как многие из них (щавелек, хвощ, торица, пикульник, мятлик луговой и др.) лучше растут на кислых почвах.

Баланс кальция в земледелии. Широкомасштабные работы по известкованию кислых почв в России ведутся с 1965 года. Имеются заметные результаты. Вместе с тем о решении проблемы кислых почв говорить еще рано. По данным Агрохимической службы, в России насчитывается 55% пахотных

почв с сильно- и среднекислой реакцией среды. Наибольшие площади их находятся в Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском и Дальневосточном экономических районах страны. Кислотность этих почв – генетическое свойство, связанное с условиями почвообразования.

Таблица 7 – Эффективность известкования кислых почв
(по данным ВИУА, БГСХА, БелНИИЗ)

Культура	Средние прибавки урожаев от известкования, ц/га	
	на сильно- и среднекислых почвах ($pH_{KCl} < 5,0$)	на слабокислых почвах ($pH_{KCl} 5,1-5,5$)
Рожь озимая, овес	2,0 – 5,0	0,5
Ячмень	2,0 – 5,0	0,6
Пшеница яровая	2,0 – 5,0	0,5
Пшеница озимая	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 (соллома)	2,0 – 3,0	1,0
Морковь	25,0 – 50,0	15,0
Кукуруза	50,0 – 75,0	20,0

Кислотность почв приводит к недобору урожаев, снижению качества продукции, гибели озимых и многолетних трав, особенно клевера, при перезимовке, низкой эффективности минеральных удобрений.

В чем причина медленного сокращения площадей кислых почв? Почему речь идет о проблеме кальция в земледелии?

Во-первых, из пахотного слоя почвы постоянно происходит отчуждение кальция и магния за счет внутри профильной миграции и выноса их урожаями сельскохозяйственных культур. В Нечерноземной зоне за счет вымывания ежегодно теряется 250–350 кг/га кальция в пересчете на CaO и 30 кг/га магния в пересчете на MgO. Применение удобрений усиливает этот процесс. По данным Калужского филиала ВИУА внесение $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне известкования привело к потерям кальция за счет вымывания до 1200–2100 кг/га. С ростом pH на единицу потери кальция удваивались.

С урожаями сельскохозяйственных культур из почвы отчуждается существенное количество кальция и магния. Больше всего кальция потребляют капуста, люцерна, клевер. Например, с урожаем 50–70 т/га капуста выносит 300–500 кг/га CaO. С 1 га разные культур выносятся от 10 до 80 кг MgO. Таким образом, за счет вымывания и выноса кальция и магния урожаями сельскохозяйственных культур суммарные потери их из почвы ежегодно составляют 350–500 кг/га или 11–12 млн тонн в целом по Нечерноземной зоне.

Во-вторых, ощущается недостаток известковых материалов. Из используемых известковых удобрений 65–70 % идет на компенсацию потерь Ca и Mg из почвы и лишь 30–35 % – на снижение кислотности почв.

В-третьих, качество известковых материалов часто низкое (повышенная влажность, превышающее допустимые пределы содержание частиц более 1 мм, не обладающих нейтрализующим действием). Нуждается в совершенствовании технология внесения известковых удобрений (высокая неравномерность внесения, низкие технологические достоинства машин и др.). Немаловажное значение имеет работа агронома по учету произвесткованных полей, контролю кислотности почв, проведению поддерживающего известкования. С течением времени за счет вымывания оснований, выноса их урожаями, микробиологических процессов, протекающих в почве с образованием органических и минеральных кислот, а также внесения физиологически кислых удобрений и поступления кислот с осадками происходит обратное подкисление почв.

Для нейтрализации физиологической кислотности 1 ц сульфата аммония требуется 1,25 ц CaCO₃, 1 ц аммиачной селитры – 0,75, хлористого аммония – 1,4, хлористого калия – 0,5, мочевины – 0,8 ц.

Кислотность атмосферных осадков иногда достигает pH 1,8–2,0. Кислоты выщелачивают кальций, магний, калий, мобилизуют алюминий, железо, марганец. Они связывают в нерастворимые соединения фосфор, повышают растворимость и доступность растениям тяжелых металлов и радионуклидов.

Экологические последствия хронического выпадения кислотных дождей весьма разнообразны. С ними связывают задержку воспроизводства лесов, а в ряде случаев и их прямое поражение. Особенно чувствительны к кислотным осадкам молодые растения. Негативное влияние таких осадков значительно для водных систем, в особенности для естественных рыбохозяйственных водоемов. Кислотные дожди провоцируют развитие грибных болезней на ослабленных растениях, поражение их корневыми гнилями.

Различают коренное и поддерживающее известкование кислых почв. Коренное известкование рассчитано не только на компенсацию потерь кальция из почвы, но и на снижение ее кислотности, а поддерживающее – только на компенсацию потерь кальция. Оно проводится при возврате наполовину величины сдвига реакции почвенной среды, достигнутой за счет коренного известкования.

Теоретической основой для проведения поддерживающего известкования является баланс кальция. Приходная часть баланса состоит из следующих статей:

- 1) известковые удобрения;
- 2) органические удобрения (содержат 0,32–0,4% CaCO_3);
- 3) фосфоритная мука при проведении фосфоритования (содержит 22% CaCO_3);

Статьи расходной части баланса:

- 1) вымывание атмосферными осадками (80–90% от общих потерь кальция, Шильников, 1984);
- 2) вынос с урожаями;
- 3) кислотные дожди.

В Венгрии проведен расчет доз известковых удобрений (кг/га CaCO_3) на компенсацию потерь кальция из почвы (табл. 8).

Известковые удобрения и взаимодействие их с почвой. Ассортимент известковых удобрений показан на рисунке 13.

Таблица 8 – Потери кальция из почвы (Дебрецени Б., 1979)

Источники потерь кальция	CaCO ₃ , кг/га
Вынос с урожаями	50–70
Нейтрализация кислотности осадков	40–380
Вымывание из почвы	200–400
Нейтрализация физиологической кислотности удобрений (при дозе 300 кг/га NPK)	250–480
Всего:	530–1250

Доломитовую муку получают размолотом доломитов, содержащих 30–32% CaO и 18–20% MgO. Это ценное известковое удобрение, имеющее высокую эффективность особенно на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах. В соответствии с ГОСТом содержание нейтрализующих кислотность веществ в пересчете на CaCO₃ должно быть не менее 95%; влажность – не более 1,5%, частиц размером менее 0,25 мм – 90–95%, частиц крупнее 1 мм – не более 3%. Чем тоньше помол доломитовой муки, тем полнее она взаимодействует с почвой и быстрее снижает кислотность.

Доломитовая мука встречается и в виде природных залежей. Она обычно на 50–70% представлена частицами размером менее 0,25 мм и не менее чем на 85% – частицами <5 мм. Залежи природной доломитовой муки встречаются редко. Самое крупное месторождение находится в Судогодском районе Владимирской области РФ.

Известняковую муку получают размолотом известняков, которые содержат 55–56% CaO и 0,9% MgO. Ее эффективность также зависит от тонины помола. В соответствии с ГОСТом известняковая мука должна удовлетворять следующим требованиям: содержание карбонатов кальция и магния в пересчете на CaCO₃ должно быть не менее 85%; содержание частиц размером 0,25 мм – не менее 60%, больше 1 мм – не более 5%, влажность – не более 1,5%. На почвах, хорошо обеспеченных магнием, известняковая мука приближается по эффективности к доломитовой муке, при слабой обеспеченности почв магнием – существенно уступает ей.



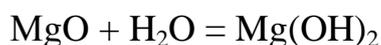
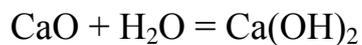
Рисунок 13 – Ассортимент известковых удобрений

Мел от других твердых карбонатных пород отличается большей мягкостью, быстрее размалывается, чем известняки, действует быстрее и в первый год по эффективности превосходит молотый известняк. В Смоленской области мел залегает по берегам рек (Днепр, Сож) и их притоков. По ТУ мел должен содержать CaCO_3 не менее 80%; частиц, крупнее 5 мм – не более 20%; влажность – не более 15%. Под влиянием увлажнения мел быстро расплывается, поэтому частицы размером 3–5 мм по эффективности не уступают тонкоизмельченным породам. Мел целесообразно использовать на кислых почвах, хорошо обеспеченных магнием.

Жженая (комовая) известь (CaO) является быстродействующим известковым удобрением. Она получается обжигом твердых известковых пород, которые под действием температуры разлагаются до оксидов кальция и магния с выделением углекислого газа:



Содержание действующего вещества в пересчете на CaCO₃ в жженой извести более 170%. Наиболее рациональный способ ее использования – предварительное гашение водой, что исключает необходимость размола и превращает ее в порошок – **гашеную известь** (пушонку):



Гашеная известь содержит 135% CaCO₃. Комовую известь можно гасить в поле путем присыпания ее влажной почвой, что, однако, хуже, чем гашение до внесения, так как не позволяет получить материал нужного качества.

Жженую и гашеную известь следует вносить в почву не позднее, чем за 1,5–2 недели до посева для исключения возможных ожогов корней молодых растений. Эти удобрения являются самыми быстродействующими, в первый год по эффективности они превосходят известняковую и доломитовую муку.

Гажá (озерная известь) – карбонатная порода, отложенная на дне высохших замкнутых водоемов, питавшихся богатыми кальцием грунтовыми водами. В озерной извести содержится 80–95% CaCO₃, 0,2–1,1% MgO, 0,2–1,6% K₂O, 0,02–0,2% P₂O₅, есть и другие полезные соединения. Гажá – рыхлый материал сероватой окраски, по внешнему виду напоминает мел.

Торфотуфы встречаются по окраинам низинных торфяников, долинам рек и ручьев, питающихся жесткими водами. Содержание CaCO₃ в торфотуфах колеблется от 10 до 75%. Это ценное местное удобрение, которое не только снижает кислотность почвы, но и обогащает ее органическим веществом.

Мёргель также является местным известковым удобрением. Он содержит 25–50% CaCO₃, не менее 1% MgCO₃ и 25% песка, глины и других механических примесей. Встречается в виде плотных и рыхлых масс. Под влиянием смены температуры и влажности плотные массы на поле рассыпаются и после заделки в почву мёргель по эффективности не уступает известняковой муке.

Отходы промышленности, богатые известью. К ним относятся сланцевая зола, дефека́т, металлургические шлаки. Отходы промышленности являются более дешевым известковым материалом, по эффективности нередко

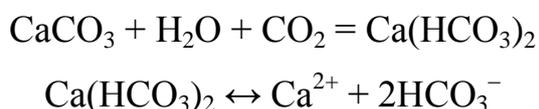
превосходящие известняковую муку из-за содержания кроме Ca и Mg ряда других питательных элементов.

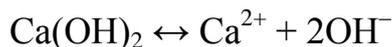
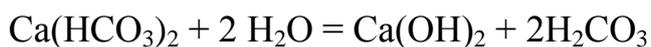
Сланцевая зола получается при сжигании горючих сланцев. Она содержит 60–75% CaCO₃, а также примеси солей магния, калия, натрия, серы, фосфора, ряда микроэлементов, что обуславливает ее более высокую эффективность, чем обычных известковых удобрений. Большая часть кальция и магния содержится в виде кремнекислых солей, поэтому нейтрализация кислотности почвы происходит медленнее, чем при внесении известняковой или доломитовой муки. По этой причине сланцевая зола положительно влияет на культуры, боящиеся избытка кальция (лен, картофель).

Дефекат является отходом свеклосахарного производства, содержит CaCO₃, Ca(OH)₂, азот, фосфор, калий, органическое вещество. Свежий дефекат подсушивают до влажности 25–30% и используют как удобрение. Сухой дефекат содержит 60–75% CaCO₃, 10–15% органического вещества, 0,2–0,7% N, 0,2–0,9% P₂O₅ и 0,3–1,0% K₂O. Дефекат используют на кислых почвах преимущественно вблизи мест производства сахара.

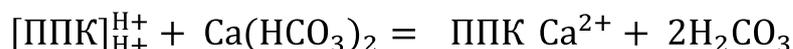
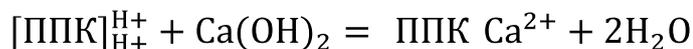
Металлургические шлаки кроме кальция и магния содержат кремний, фосфор, марганец, серу и другие элементы. Кремниевая кислота снижает содержание подвижного алюминия в почве, что обеспечивает лучшую усвояемость фосфора растениями. По этим причинам эффективность металлургических шлаков нередко оказывается даже выше эквивалентных по CaCO₃ доз известняковой и доломитовой муки. Для шлаков очень важна тонина помола, так как кальций и магний содержится в нем в виде силикатов, менее растворимых, чем карбонаты.

Взаимодействие извести с почвой. Карбонат кальция почти не растворяется в воде, но в присутствии угольной кислоты его растворимость увеличивается в 60 раз и он превращается в растворимый бикарбонат кальция, который представляет собой гидролитически щелочную соль:





Концентрация катионов кальция в почве повышается, и они вытесняют ионы водорода из почвенного поглощающего комплекса:



Известковые удобрения взаимодействуют со свободными органическими кислотами и азотной кислотой, образующейся в процессе нитрификации.

Таким образом, устраняется актуальная, обменная и значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается степень насыщенности почвы основаниями.

Определение необходимости известкования почв. Дозы, сроки и способы внесения известковых удобрений. Самый надежный способ определения нуждаемости почвы в известковании – использование результатов химического анализа почвы (картограмма кислотности). При определении степени нуждаемости в известковании учитывают pH_{KCl} , степень насыщенности основаниями и гранулометрический состав почвы (табл. 9).

Таблица 9 – Нуждаемость почв в известковании в зависимости от гранулометрического состава, величины pH_{KCl} и степени насыщенности почвы основаниями (по М.Ф. Корнилову, 1965)

Гранулометрический состав почвы	Потребность в извести							
	сильная		средняя		слабая		отсутствует	
	pH_{KCl}	V, %	pH_{KCl}	V, %	pH_{KCl}	V, %	pH_{KCl}	V, %
Тяжело-и средне-суглинистая	<5.0	<45	5.0-5.5	45-60	5.5-6.0	60-70	>6.0	>70
	<4.5	<50	4.5-5.0	50-65	5.0-5.5	65-75	>5.5	>75
	<4.5	<55	4.0-4.5	55-70	4.5-5.0	70-80	>5.0	>80
Легкосуглинистая	<5.0	<35	5.0-5.5	35-55	5.5-6.0	55-65	>6.0	>65
	<4.5	<40	4.5-5.0	40-60	5.0-5.5	60-70	>5.5	>70
	<4.0	<45	4.0-4.5	45-55	4.5-5.0	65-75	>5.0	>75
Супесчаная и песчаная	<5.0	<30	5.0-5.5	30-45	5.5-6.5	45-55	>6.0	>55
	<4.5	<35	4.5-5.0	35-50	5.0-5.5	50-60	>5.5	>60
	<4.0	<40	4.0-4.5	40-55	4.5-5.0	55-65	>5.0	>65
Торфяная	<3.5	<35	3.5-4.2	35-55	4.2-4.8	55-65	>4.8	>65

Дозы известковых удобрений зависят от кислотности почвы, степени насыщенности ее основаниями и гранулометрического состава, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, качества самих удобрений. При известковании нецелесообразен резкий сдвиг pH_{KCl} (более чем на единицу).

Дозу $CaCO_3$ (Д) можно определить тремя способами.

1-й способ: по величине гидролитической кислотности (Нг):

$$Д = Нг \times 1,5$$

Формула получена в результате следующих расчетов: для нейтрализации 1 мэкв ионов H^+ в 100 г почвы требуется 1 мэкв или 50 мг $CaCO_3$; умножив последнюю величину на массу пахотного слоя одного гектара почвы (определяется с учетом плотности почвы и мощности мелиорируемого слоя: при плотности 1,2 и слое 0–25 см масса почвы на одном гектаре составляет $3 \cdot 10^6$ кг) и разделив на $1 \cdot 10^9$ (для перевода миллиграммов в тонны) получим:

$$Доза CaCO_3 = \frac{Нг \times 500 \times 3 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = Нг \times 1,5$$

Это полная доза $CaCO_3$.

2-й способ: по величине pH_{KCl} и гранулометрическому составу почвы (табл. 10). Эта доза составляет примерно 75% от полной.

Таблица 10 – Дозы $CaCO_3$ (т/га) для дерново-подзолистых почв с содержанием гумуса не более 3% (для центральных и северо-восточных областей Нечерноземной зоны России)

Гранулометрический состав почвы	pH_{KCl}								
	3.8-3.9	4.0-4.1	4.2-4.3	4.4-4.5	4.6-4.7	4.8-4.9	5.0-5.1	5.2-5.3	5.4-5.5
Песчаная	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	-
Супесчаная	7.0	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	-
Легкосуглинистая	8.0	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5
Среднесуглинистая	9.0	8.0	6.5	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
Тяжелосуглинистая	10.5	9.5	7.5	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
Глинистая	14.5	10.5	9.0	7.0	6.5	6.0	5.5	6.0	4.5

3-й способ: по нормативам затрат извести для снижения кислотности на 0,1 pH (табл. 11) по формуле:

$$Д = \Delta pH \times A \times 10,$$

где D – доза CaCO_3 , т/га; ΔpH – планируемый сдвиг $pH_{\text{КСИ}}$; A – норматив затрат CaCO_3 для снижения кислотности на 0,1 $pH_{\text{КСИ}}$.

Таблица 11 – Нормативы затрат CaCO_3 для снижения кислотности почвы на 0,1 $pH_{\text{КСИ}}$ для дерново-подзолистых и серых лесных почв, т/га (по данным ряда авторов)

Гранулометрический состав почвы	Сильнокислые $pH_{\text{КСИ}}$ менее 4,5	Среднекислые $pH_{\text{КСИ}}$ 4,6-5,0	Слабокислые $pH_{\text{КСИ}}$ 5,1-5,5
Песчаные, супесчаные	0.42	0.50	0.53
Суглинистые	0.56	0.66	1.10
Тяжелосуглинистые	0.75	0.89	1.45

Дозы CaCO_3 рассчитаны на глубину пахотного слоя до 25 см. При большей глубине их увеличивают.

При пересчете CaCO_3 в дозу конкретного известкового материала учитывают содержание в нем карбонатов кальция и магния, влажность и содержание частиц крупнее 1 мм. Для расчета используют следующую формулу:

$$D\phi = \frac{D \times 100^3}{\% \text{ д.в.} \times (100 - B) \times (100 - K)},$$

где $D\phi$ – физическая масса известкового материала, т/га; D – расчетная доза CaCO_3 , т/га; % д.в. – содержание действующего вещества (CaCO_3) в известковом материале, %; B – влажность известкового удобрения, %; K – содержание частиц размером более 1 мм, %.

В севооборотах с высоким уровнем насыщения льном, картофелем, люпином известкование следует проводить непосредственно под эти культуры или за 4 и более лет до их посева. Так как известкование снижает подвижность в почве бора и расширяет отношение Са:К в почве, то ухудшается питание растений калием и бором. В этих условиях необходимо внесение борных удобрений и увеличение в 1,5–2 раза дозы калийных, особенно на бедных калием почвах. Из известковых удобрений имеет преимущество доломитовая мука, так как она содержит магний.

Сроки внесения известковых удобрений. Известкование можно проводить круглый год. Весной – под культуры ярового сева, занятые пары, под

покров многолетних трав. Летом известковые удобрения вносят на полях после уборки озимых зерновых, однолетних трав на зеленый корм и многолетних трав, на вновь осваиваемых землях – под озимые культуры. Осенью известкование проводят после уборки озимых и яровых культур и на вновь осваиваемых землях под зяблевую вспашку.

Известкование можно проводить и зимой. При этом поле должно быть ровным с уклоном не более 3° , глубина снежного покрова не должна превышать 25 см. Запрещается внесение пылевидных известковых удобрений на замерзшие, не покрытые снегом пахотные почвы. Скорость ветра не должна быть выше 4–5 м/с., влажность удобрения – не выше 7–8%. При зимнем известковании дозу увеличивают на 20%. Разбрасывающие диски центробежных машин должны быть выше верхней отметки снежного покрова на 40 см. Нарезка бульдозерных проходов в толще снега на известкуемых полях не разрешается. Поле не должно быть занято озимыми культурами. Внесенные пылевидные известковые материалы заделывают в снег.

Способы внесения. Известковые удобрения чаще всего вносят вразброс под вспашку или глубокую культивацию. Существуют рекомендации локального внесения в рядки при посеве культур, однако такой способ создает благоприятные условия только в первые периоды роста и развития культур, но не решает проблемы кислотности почвы, так как дозы CaCO_3 в этом случае несравнимо ниже, чем при внесении под основную обработку почвы.

На сенокосах и пастбищах известковые удобрения вносят при коренном окультуривании, лучше всего под предпосевную культивацию. Внесение под вспашку – нерационально, так как значительная часть извести оказывается слишком глубоко заделанной в почву, малоэффективным является и поверхностное внесение извести на лугах и пастбищах.

Контроль качества известкования. Известкование кислых почв проводится из средств госбюджета на основе проектно-сметной документации.

Контроль качества известкования осуществляется агрохимиком (агрономом) областной станции агрохимической службы при участии агрономической службы хозяйства. Он включает:

- установление фактического соответствия известкуемой площади, указанной в проекте;
- проверку документации о поступлении известковых удобрений к месту работ, объема и качества удобрений;
- контроль качества работ на каждом поле (участке) проводится путем инструментального замера неравномерности распределения известковых удобрений по поверхности поля.

Акт приемки и заключение о качестве работ оформляется по окончании работ на поле *до заделки известкового удобрения в почву*, но не позднее пяти дней после их проведения.

Обязательным условием производства работ по известкованию является учет известковых удобрений и произвесткованных площадей, что осуществляется бухгалтерами и агрономами хозяйств и контролируется специалистами областной станции агрохимической службы. Принятые по акту известкования поля отмечаются на картограмме кислотности и записываются в «Книгу истории полей» хозяйства.

Экономическая эффективность известкования определяется сопоставлением величины затрат на его проведение со стоимостью получаемой дополнительной продукции за период действия удобрения. Основные затраты в структуре издержек на известкование кислых почв приходятся на транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы и внесение извести.

Наибольшая окупаемость затрат и чистый доход от известкования отмечается в севооборотах с чувствительными к кислотности культурами. На сильно- и среднекислых почвах затраты окупаются зерновыми культурами за один-два года, кормовыми – менее, чем за год, овощами – в 3-4-х кратном размере в течение года.

По многочисленным данным за ротацию севооборота каждая тонна CaCO_3 на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны обеспечивает прибавку урожая культур не менее 7–8 ц/га в пересчете на зерно.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте отношение сельскохозяйственных культур к кислотности почвы, содержанию в ней подвижных форм алюминия и марганца.
2. Как влияет повышенная кислотность на свойства почвы и растения?
3. Дайте краткую характеристику известковым удобрениям.
4. Как определить нуждаемость почвы в известковании и дозу удобрения?
5. Назовите сроки и способы внесения известковых удобрений.
6. Перечислите особенности известкования кислых почв зимой.
7. Назовите особенности известкования почв в севооборотах со льном, картофелем, люпином.
8. Расскажите об эффективности известкования, влиянии его на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

2.1.4 АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Внесение азотных удобрений значительно повышает содержание минерального азота в почве и способствует минерализации ее органического вещества. Исследования, проведенные с использованием стабильного изотопа азота ^{15}N , показали, что в полевых условиях растения из удобрений усваивают 40–50% азота, в органической форме в почве закрепляется 10–20% внесенного нитратного азота и 30–40% – аммиачного, аммонийного и амидного. В результате вымывания и эрозии из почвы теряется от 5 до 15%, газообразные потери при денитрификации составляют от 25 до 30% внесенного минерального азота (рис. 12)

Химическая промышленность выпускает азотные удобрения, содержащие азот в аммонийной, аммиачной, нитратной, аммонийно-нитратной, амидной формах. В отдельную группу выделяют медленнодействующие удобрения. Схематично классификация азотных удобрений представлена на рисунке 13.

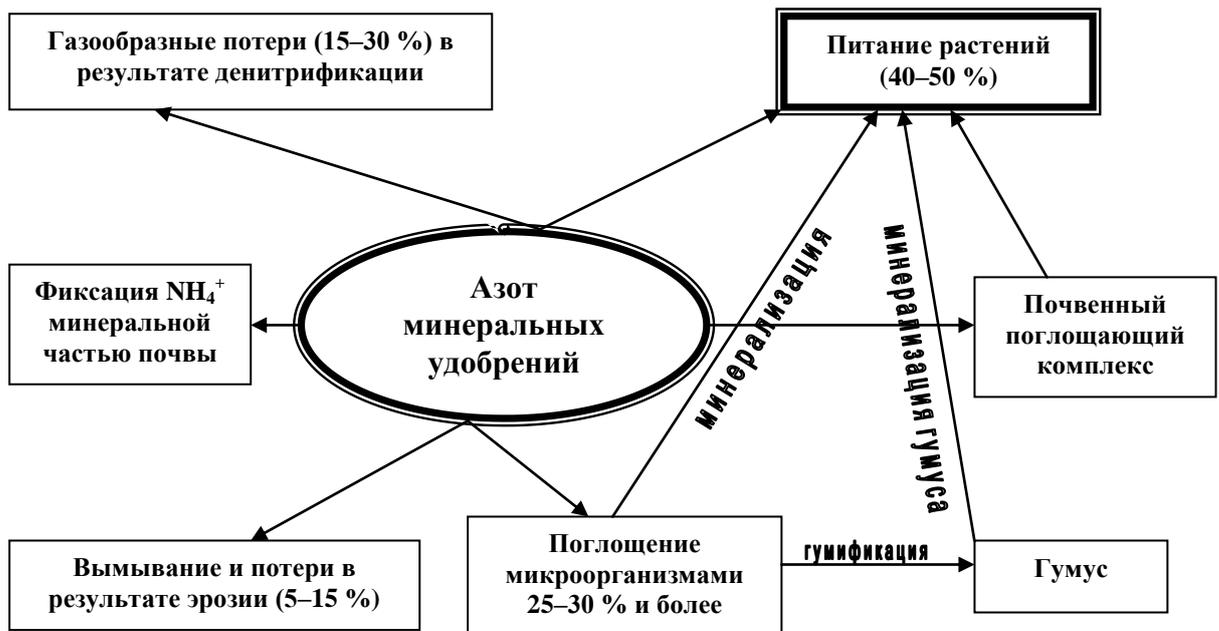


Рисунок 12 – Схема трансформации азота минеральных удобрений в почве

Азотные удобрения, как правило, хорошо растворяются в воде, но поведение их в почве имеет существенные различия, которые зачастую определяют сроки, приемы и способы их внесения в почву.

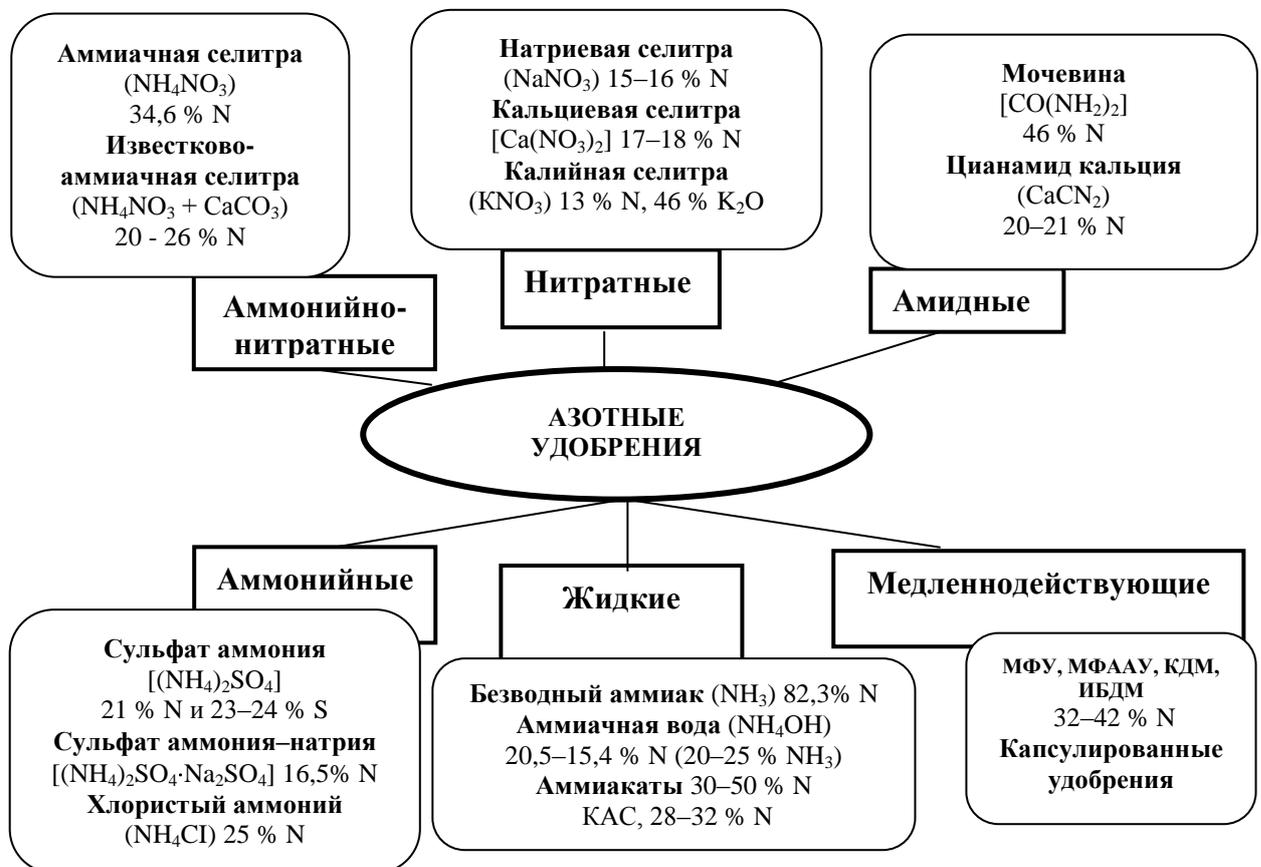


Рисунок 13 – Классификация азотных удобрений

Нитратные азотные удобрения – натриевая (15,5% N) кальциевая (17,5% N), и калийная (13% N) селитры. Последнее удобрение относится к группе сложных, так как в его состав, кроме азота, входит 46 % калия.

Кальциевая селитра является очень гигроскопичным удобрением, поэтому ее следует упаковывать в непромокаемые пятислойные бумажные или полиэтиленовые мешки. Натриевая и калийная селитры слабо гигроскопичны. Плотность натриевой селитры – 1,2, кальциевой – 1 т/м³. Все нитратные азотные удобрения имеют кристаллическое строение. Объемы выпуска их невелики.

Это физиологически щелочные удобрения. При их внесении растения преимущественно используют анион NO₃⁻, а остающиеся неиспользованными катионы натрия, кальция и калия образуют основания и сдвигают реакцию почвенного раствора в щелочную сторону (рис. 14). Поэтому нитратные удобрения весьма эффективны на кислых дерново-подзолистых почвах.

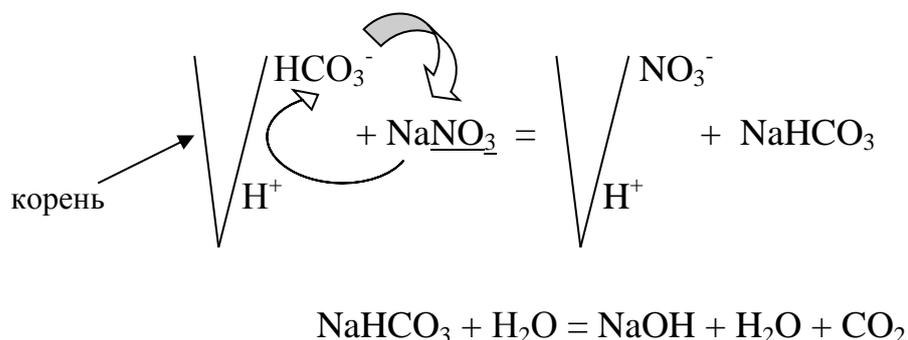


Рисунок 14 – Схема избирательного поглощения корнем анионов соли (H⁺ и HCO₃⁻ - обменные ионы корня)

Физиологическая щелочность калийной селитры обусловлена гораздо более высоким содержанием в ней калия, чем азота, а так как в почве остаются неиспользованными катионы калия, почвенный раствор подщелачивается.

Поглощение питательных элементов растениями и микроорганизмами называют биологическим. Кроме того, выделяют механическое, физическое, химическое и физико-химическое поглощение питательных элементов в почве (по К.К. Гедройцу).

Селитры не способны к химическому закреплению в почве, так как практически все соли азотной кислоты растворимы в воде. Они не поглощаются почвой физически, физико-химически, механически. Связывание нитратного азота в почве происходит только биологическим путем. Закрепление это имеет временный характер, азот высвобождается после отмирания и минерализации растительной и микробной биомассы.

В связи с этим нитратный азот имеет ярко выраженную способность к миграции, особенно при промывном типе водного режима почвы, орошении и на легких почвах. В этих условиях селитры лучше применять в качестве основного удобрения весной перед посевом, при посеве или в подкормку.

Натриевая селитра особенно эффективна при выращивании сахарной и кормовой свеклы и других корнеплодов, которые положительно отзываются на натрий, содержащийся в этом удобрении. На кислых подзолистых почвах при выращивании чувствительных к почвенной кислотности культур кальциевая селитра эффективнее натриевой.

Аммонийные азотные удобрения. Сульфат аммония – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ содержит 20,5–21% азота, слабо гигроскопичен, имеет плотность 0,8 т/м³. Выпускается в виде кристаллов белого или серого цвета. Удобрение имеет хорошие физические свойства: низкую гигроскопичность, не слеживается, не расплывается на воздухе, сохраняет рассыпчатость, хорошо рассеивается.

Сульфат аммония-натрия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ – 16–17% азота и 8% натрия, кристаллическая соль серого или желтоватого цвета, является отходом производства капролактама.

Хлористый аммоний – NH_4Cl содержит 25% азота и 66,6% хлора, мелкокристаллическая соль белого или желтоватого цвета, плотность – 0,6 т/м³.

Аммонийные азотные удобрения обладают физиологической кислотностью. При их внесении растения преимущественно используют катион аммония, а остающиеся анионы, образуя кислоты (HCl , H_2SO_4 и др.), подкисляют почву (рис. 15).

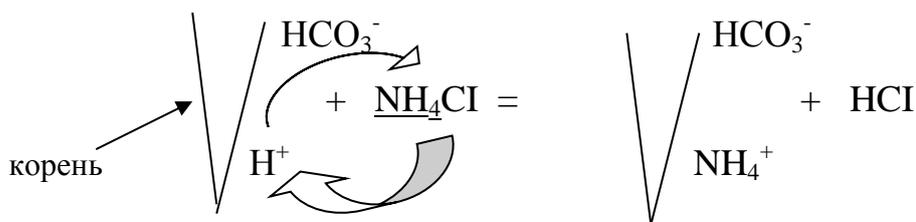
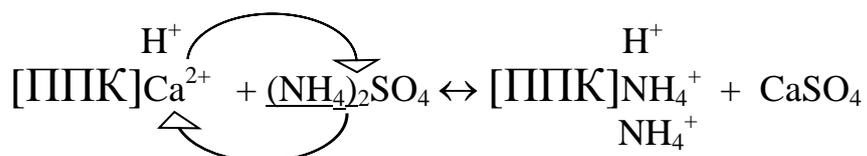


Рисунок 15 – Схема избирательного поглощения корнем катионов соли (H^+ и HCO_3^- - обменные ионы корня)

В почве аммонийные удобрения подвергаются нитрификации (окисление нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов), а также поглощаются биологическим и физико-химическим путем (обменно и необменно).

Физико – химическое обменное поглощение обусловлено взаимодействием удобрения с ППК, в результате которого происходит обмен между катионами между ППК и удобрением:



Находясь в обменно-поглощенном состоянии, ионы аммония остаются доступными растениям и удерживаются ППК от вымывания. Это позволяет вносить такие удобрения заблаговременно, например, осенью под культуры весеннего сева. Аммонийный азот настолько хорошо удерживается почвой, что его можно использовать даже в условиях выращивания сельскохозяйственных культур при длительном переувлажнении (например, риса). *Необменное поглощение* обусловлено вхождением катионов аммония в межпакетные пространства некоторых минералов (монтмориллонит, гидрослюды) при их увлажнении (кристаллическая решетка минералов при этом растягивается). Это поглощение наиболее выражено на тяжелых почвах при их попеременном увлажнении и высушивании. Поглощенный таким образом аммонийный азот не доступен растениям. Учитывая, что верхний слой почвы в большей степени подвержен увлажнению и высушиванию, аммонийные азотные удобрения

следует вносить с заделкой в почву, тогда как нитратные – можно и поверхностно без заделки.

Аммонийные азотные удобрения, как правило, вносят в качестве основного. Нежелательно их использовать вместе с высевом семян (в рядки), так как в зоне их прорастания создается высокая концентрация аммонийного азота. Это может привести к так называемому аммиачному отравлению молодых растений из-за низкого содержания в них органических кислот, которые связывают аммонийный азот и включают его в процесс синтеза аминокислот и белков.

Систематическое использование аммонийных удобрений ведет к подкислению почвы из-за их физиологической кислотности и процесса нитрификации азота в почве. Это особенно касается почв и низкой буферной способностью к подкислению, например, дерново-подзолистых. Помимо известкования кислых почв эффективность физиологически кислых удобрений можно повысить совместным применением их со щелочными солями, органическими удобрениями. Для нейтрализации физиологической кислотности 1 ц сульфата аммония или хлористого аммония требуется внесение 1,3 и 1,4 ц извести, соответственно.

Следует отметить, что хлористый аммоний по эффективности часто уступает сульфату аммония из-за высокого содержания в нем хлора, который снижает качество урожая таких культур как картофель, табак, лен, гречиха, виноград, овощные, плодово-ягодные. Под эти культуры не следует вносить NH_4Cl в повышенных дозах и более безопасно использовать его заблаговременно как основное удобрение, так как в этом случае хлор может успеть вымыться из корнеобитаемого слоя с осенне-весенними осадками.

Сульфат аммония-натрия используют так же как сульфат аммония. Из-за содержания натрия это удобрение целесообразно применять на серых лесных и дерново-подзолистых известкованных почвах под сахарную свеклу, положительно отзывающуюся на натрий, а также для подкормки культурных пастбищ и сенокосов.

Аммонийно–нитратные удобрения. Аммиачная (аммонийная) селитра (нитрат аммония) – самое распространенное азотное удобрение. В соответствии с ГОСТ 2-2013 аммиачная селитра для сельского хозяйства должна содержать менее 34% азота, влажность не более 0,6%, рН водного раствора с массовой долей 10% – не менее 4. Выпускается в виде белых, желтоватых или розоватых гранул размером 1–4 мм (95% гранул) и плотностью 0,85 т/м³. Технология производства селитры из аммиака и азотной кислоты исключает содержание в ней токсичных элементов и радионуклидов. В ассортименте азотных удобрений аммиачная селитра составляет примерно 40%.

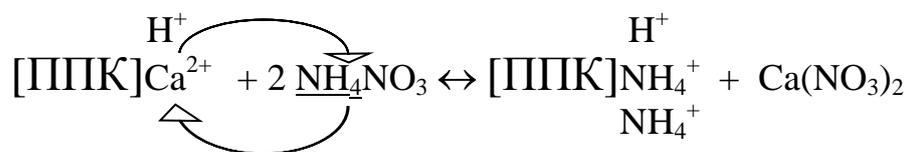
Недостатком этого удобрения является высокая гигроскопичность. Для ее снижения используют припудривающие добавки (3–5% от массы селитры): молотый известняк, мел, фосфоритную муку, фосфогипс и др. Селитру упаковывают во влагопрочные мешки (полиэтиленовые, из полипропиленовой ткани с внутренним полиэтиленовым вкладышем, другие влагопрочные полимерные мешки).

Второй недостаток, который необходимо учитывать при организации условий хранения аммиачной селитры – ее взрывоопасность. Селитра сильный детонатор, она взрывается под действием сильных ударов. При температуре 210 °С селитра разлагается на оксиды азота и пары воды, при этом при взаимодействии оксидов азота и селитры выделяются кислород и аммиак, что может привести к пожару или взрыву. В случае загрязнения селитры органическими материалами или при пожаре разложение селитры переходит во взрыв. По степени воздействия на организм человека селитра относится к умеренно опасным веществам (3-й класс опасности). При хранении, транспортировании и применении селитры в сельском хозяйстве следует соблюдать нормы и правила в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Физиологическими опытами в лаборатории Д.Н. Прянишникова установлено, что из раствора нитрата аммония растения быстрее поглощают катионы NH_4^+ , чем NO_3^- . Поэтому аммиачную селитру относят к

физиологически кислым удобрениям. Но ее физиологическая кислотность значительно ниже, чем аммонийных азотных удобрений. Для ее нейтрализации в расчете на 1 ц удобрения необходимо 0,75 ц извести. Нитрификация аммонийного азота в малобуферных почвах также вызывает временное подкисление почвы.

В почве аммиачная селитра легко поглощается микроорганизмами (биологическое поглощение), а при их минерализации азот вновь становится доступен растениям. Она растворяется и вступает в реакцию с ППК:



В результате обменного поглощения аммоний адсорбируется коллоидами почвы, а NO_3^- остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность. Аммоний может также поглощаться глинистыми минералами необменно.

Аммиачная селитра является универсальным удобрением: ее можно использовать под все сельскохозяйственные культуры вразброс и локально, до посева, при посеве (в рядки) и в подкормку (прикорневую и некорневую).

Следует помнить, что половина азота в этом удобрении содержится в нитратной форме, имеющей высокую подвижность и легко мигрирующей по профилю почвы. Поэтому на легких почвах, особенно в условиях достаточного и избыточного увлажнения и орошения, аммиачную селитру следует вносить весной в качестве основного удобрения, а также во время наибольшего потребления азота растениями (в подкормку). Это предотвращает потери азота и способствует повышению коэффициента использования его растениями.

На аммиачную селитру приходится примерно 1/3 часть общего объема экспортируемых Россией азотных удобрений.

Амидные удобрения. Мочевина (карбамид) – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – одно из самых распространенных удобрений. По объемам выпуска она может соперничать с аммиачной селитрой. В соответствии с ГОСТ 2081-2010 карбамид марки Б для растениеводства должен содержать не менее 46,2 % азота, не более 1,4 %

биурета (токсичная для растений примесь, образующаяся при гранулировании удобрения), не более 0,5% массовой доли общей воды. Это самое концентрированное из твердых азотных удобрений. Мочевина имеет слабую гигроскопичность, в хороших условиях хранения слеживается мало, сохраняет рассеиваемость. Выпускается в виде белых гранул, не менее 94% их должны иметь размер 1–4 мм. Плотность 0,65 т/м³. Технология производства карбамида исключает возможность образования и накопления примесей токсичных элементов, в том числе свинца, мышьяка, кадмия, ртути и радионуклидов природного и техногенного происхождения.

В почве, под действием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, мочевина за 2–3 дня аммонифицируется с образованием малостойкого соединения – углекислого аммония (NH₄)₂CO₃, легко разлагающегося на аммиак и бикарбонат аммония, что может приводить к потерям азота:



В первые дни после внесения мочевины происходит временное местное подщелачивание почвы.

Из-за опасности потерь азота в виде аммиака удобрение не рекомендуется вносить поверхностно без заделки, особенно на карбонатных почвах. Эти потери могут достигать 20%. При заделке мочевины в почву образующийся аммоний поглощается ППК, постепенно нитрифицируется, в результате чего подщелачивание сменяется некоторым подкислением. Подкисление почвы возможно также за счет избирательного поглощения растениями ионов аммония после аммонификации мочевины. Это физиологически кислое удобрение, по потенциалу кислотности близкое к аммиачной селитре.

Мочевина – одно из лучших азотных удобрений, не уступающее по эффективности аммиачной селитре, за исключением поверхностного применения. Ее можно применять как основное удобрение осенью или весной, а также для подкормки под все культуры и на всех почвах. Мочевину не рекомендуется использовать в качестве рядкового удобрения из-за возможного

накопления аммонийного азота в зоне прорастания семян и опасности аммиачного отравления молодых растений. Мочевина – лучшее удобрение для некорневой подкормки зерновых, овощных, плодовых культур. Поздние подкормки зерновых азотом повышают содержание в зерне белка и клейковины.

Цианамид кальция (CaCN_2) содержит 19–20% азота, легкий порошок (плотность $0,6 \text{ т/м}^3$), имеет темно-серый или черный цвет и слабый запах керосина. Физиологически щелочное удобрение. При внесении в почву он подвергается гидролизу с образованием ядовитого цианамиды (H_2CN_2), затем быстро переходит в мочевину.

Его следует вносить минимум за 7–10 дней до посева или осенью под зябь. Цианамид кальция не пригоден для рядкового внесения, его не следует использовать в подкормку. Применяется ограниченно.

Жидкие азотные удобрения – это удобрения, содержащие разные формы азота. К таким удобрениям относятся безводный аммиак, аммиачная вода, аммиакаты, КАС (азотные растворы).

Безводный аммиак – самое концентрированное из всех азотных удобрений (82,3% азота). Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. Это бесцветная жидкость, плотность $0,61 \text{ г/см}^3$ при 20°C . Хранят и перевозят безводный аммиак в стальных цистернах, выдерживающих высокое давление (25–30 атм.). Он способен подвергать коррозии медь, цинк и их сплавы, но практически инертен по отношению к железу, чугуну, стали. Внесенный в почву аммиак, соединяясь с водой, образует гидроксид аммония (NH_4OH), быстро адсорбируется почвой, и постепенно нитрифицируется.

Аммиачная вода – 25 и 20%-ный раствор аммиака в воде содержит 20,5 и 16,4% азота, соответственно. Не разрушает черные металлы, поэтому при работе с ней используются резервуары из обычной углеродистой стали. Плотность $0,9\text{--}0,93 \text{ г/см}^3$. В аммиачной воде азот содержится в аммонийной и аммиачной форме с существенным преобладанием первой.

Безводный аммиак и аммиачная вода первоначально оказывают на почву подщелачивающее действие (до pH 9), а после нитрификации (примерно через месяц) – подкисляют почву. При внесении безводного аммиака отмечается временная стерилизация почвы, но через 1–2 недели микробиологическая активность почвы восстанавливается. Это эффективный способ борьбы с проволочником.

Безводный аммиак и аммиачную воду можно использовать под все сельскохозяйственные культуры и в любые сроки, не только весной до посева, для подкормки пропашных культур, но и осенью. Не допускается поверхностное внесение этих удобрений. Аммиачную воду следует вносить в почву на глубину 10–15 см, безводный аммиак – на 15–20 см. На почвах легкого гранулометрического состава глубина заделки должна быть большей, чем на тяжелых.

Внесение этих удобрений полностью механизировано. Аммиак – сильнодействующее отравляющее вещество, смесь с воздухом (15–27% NH_3) – взрывоопасна. При попадании на кожу он может вызывать ожоги, при испарении (процесс эндотермический) – обморожение, при вдыхании паров – раздражение слизистых тканей глаз, дыхательных путей кашель, удушье. Поэтому при работе с ним необходимо соблюдать правила техники безопасности, использовать спецодежду, респираторы и другие средства защиты.

Аммиакаты – жидкости светло-желтого или желтого цвета с содержанием азота от 30 до 50%. Это удобрения с комплексом разных форм азота (аммиачной, аммонийной, нитратной, амидной), так как получают их путем растворения аммиачной селитры, аммиачной и кальциевой селитры, мочевины или аммиачной селитры и мочевины в 10–15%-ной аммиачной воде. Так как аммиакаты содержат летучую форму азота, используют только внутрипочвенное их внесение, так же как безводного аммиака и аммиачной воды. Для работы с ними пригодны емкости из алюминия или его сплавов, из

нержавеющей стали или обычные стальные емкости с антикоррозийным покрытием, а также емкости из полимерных материалов.

По действию на урожайность сельскохозяйственных культур аммиакаты равноценны твердым азотным удобрениям.

КАС (азотные растворы) содержат 28 – 32% азота и представляют собой бесцветные или желтоватые жидкости с плотностью 1,26–1,33 г/см³ и нейтральной или слабощелочной реакцией. КАС готовят из полупродуктов (не упаренных плагов) аммиачной селитры и мочевины, при этом значительно сокращаются затраты на производство единицы азота по сравнению с твердыми азотными удобрениями. На их основе можно готовить комплексные удобрения, введением в состав других питательных элементов. Удобрение не содержит летучих форм азота, поэтому технологично и удобно в обращении. Его перевозят в цистернах из углеродистой стали с использованием ингибиторов коррозии. Используют в качестве основного удобрения и в подкормку (прикорневую и некорневую), используя те же машины, что и для внесения аммиачной воды. Все работы по транспортировке и внесению механизированы, поэтому точность и равномерность внесения – высокая.

Медленнодействующие азотные удобрения представлены двумя группами: конденсатами мочевины и альдегидов и капсулированными удобрениями, гранулы которых покрыты труднорастворимыми пленками – серой, формальдегидной смолой, акриловой смолой, стеарином и т. п.

К удобрениям первой группы относятся:

- **мочевиноформальдегидное удобрение (МФУ, карбамидформ, уреаформ)** получается конденсацией мочевины с формальдегидом, выпускается в порошковидном и гранулированном виде, содержит 38–42% общего азота, в том числе 8–10% водорастворимого. МФУ следует применять главным образом в орошаемых районах, целесообразно использовать для основного внесения под лен и зерновые культуры;

- *мочевиноформацетальдегидное удобрение (МФААУ)* содержит 36–38% азота. Получается конденсацией мочевины со смесью формальдегида и ацетальдегида. По свойствам близко к МФУ;

- *кротонилидендимочевина (КДМ)* содержит 32–33% азота, получается конденсацией мочевины с кротоновым альдегидом. Слабо растворяется в воде;

- *изобутилендимочевина (ИБДМ)* содержит 32 % азота, выпускается в гранулах, негигроскопична, медленно растворяется в воде, может быть использована для производства комплексных удобрений, содержащих половину азота в форме ИБДМ.

Отличительной особенностью этих удобрений является постепенный переход азота в усвояемую для растений форму, что определяет продолжительность их действия. Они имеют длительное последствие, но в первый год менее эффективны, чем растворимые азотные удобрения.

Преимуществом слабо растворимых азотных удобрений является то, что их азот не вымывается из почвы и не выносится в поверхностный иссушенный слой почвы восходящим током влаги. Их можно вносить в высоких дозах, не создавая высокой концентрации и высокого осмотического давления почвенного раствора. По сравнению с растворимыми формами азотных удобрений они имеют меньшую потенциальную опасность загрязнения окружающей среды. Однако имеют высокую стоимость. Эти удобрения пока не получили широкого применения, но перспективны в районах избыточного увлажнения, на орошаемых землях в качестве основного удобрения под овощные, на лугах, пастбищах, газонах, не пригодны для внесения в рядки и в подкормку. Эти удобрения могут содержать остаточные количества вредных для растений альдегидов.

Капсулированные удобрения представляют собой водорастворимые азотные удобрения, покрытые пленками с низкой проницаемостью для воды, что делает их менее гигроскопичными, гранулы – более прочными, гранулометрический состав – более постоянным, удобрения не слеживаются. Это позволяет вносить их с почву вместе с семенами. Важно, чтобы

высвобождение азота соответствовало потребностям растений в каждый период роста и развития. Это регулируется подбором толщины и состава покрытия гранул.

Перспективно использование капсулированных удобрений под рис, на лугах и пастбищах длительного пользования, под овощные в районах избыточного увлажнения и при орошении. Высокая стоимость этих удобрений пока ограничивает их применение в сельском хозяйстве.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основное сырье для получения азотных удобрений.
2. Охарактеризуйте трансформацию азотных удобрений в почве. Какими процессами определяется степень обеспеченности растений минеральными формами азота?
3. Как классифицируют азотные удобрения? Назовите их.
4. Что такое физиологическая реакция солей? Приведите примеры физиологически кислых и щелочных азотных удобрений.
5. Нитратные удобрения, их состав, свойства, взаимодействие с почвой и особенности применения.
6. В чем различия в применении аммиачной селитры и мочевины?
7. Как отличается использование аммонийных, аммиачных и нитратных удобрений в Нечерноземной зоне?
8. Охарактеризуйте сходства и различия в свойствах и применении безводного аммиака и КАС.
9. Какие из азотных удобрений имеют высокую гигроскопичность, высокую слеживаемость? Какие азотные удобрения выпускают в гранулированном, кристаллическом и порошковидном состоянии?

2.1.5 ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Фосфорные удобрения различаются по химическому составу, содержанию фосфора, растворимости и, следовательно, доступности растениям. Эффективность их во многом зависит от свойств почв. В одних почвах фосфаты поглощаются и закрепляются в виде недоступных растениям соединений, в других – наоборот, растворяются и усваиваются растениями.

По растворимости фосфорные удобрения делят на три группы (рис. 16):

– удобрения, содержащие фосфор в водорастворимой форме;

– удобрения, не растворимые в воде, но растворимые в слабых кислотах и щелочном растворе лимоннокислого аммония (фосфор этих удобрений доступен растениям);

– удобрения, растворимые только в сильных кислотах.

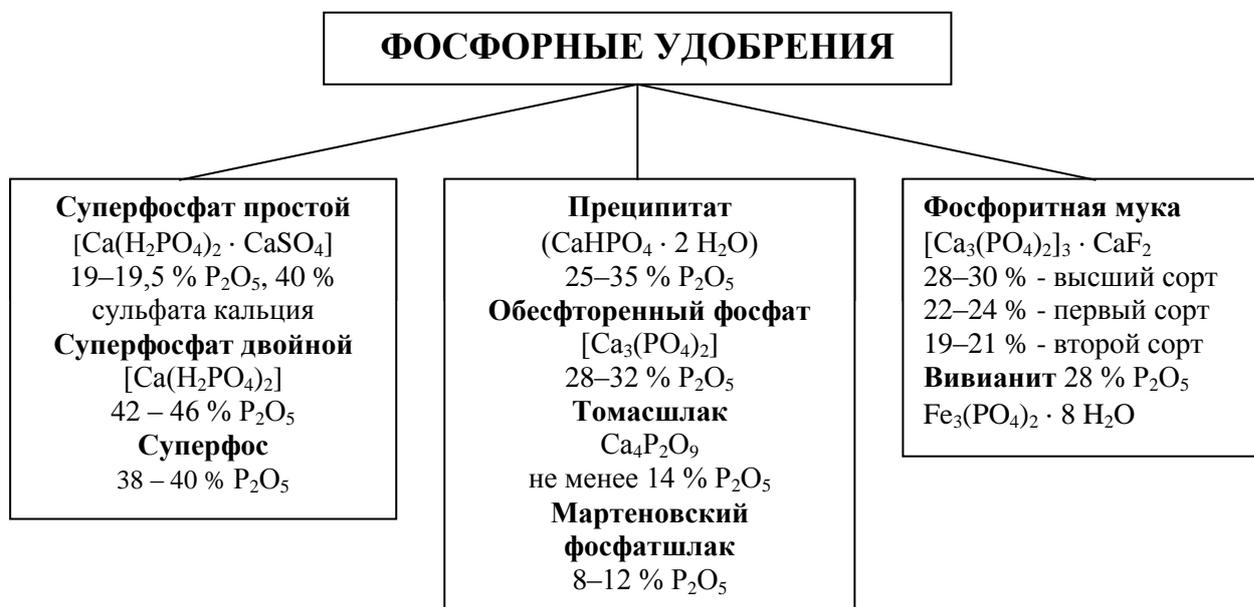


Рисунок 16 – Классификация фосфорных удобрений

Удобрения, содержащие фосфор в водорастворимой форме – суперфосфаты. По содержанию фосфора суперфосфат может быть простым, двойным, обогащенным, а по форме выпуска – порошковидным и гранулированным.

Суперфосфат простой – Ca(H₂PO₄)₂·CaSO₄ получается разложением фосфатного сырья серной кислотой, может выпускаться в порошковидной и гранулированной форме. Гранулированный суперфосфат лучше, чем порошковидный, так как он не слеживается, хорошо рассеивается, более равномерно распределяется по поверхности почвы и меньше контактирует с почвой, что важно с точки зрения снижения ретроградации фосфора. В соответствии с действующим ГОСТом 5956-78 суперфосфат гранулированный из апатитового концентрата должен содержать не менее 19% P₂O₅, не более 3,5% воды, не менее 85% гранул должны иметь размер 1–4 мм, содержание

свободной кислоты в пересчете на H_3PO_4 должно быть не более 3,2%. Из-за ее наличия удобрение имеет характерный запах фосфорной кислоты. Свободная кислота приводит к коррозии металлов при использовании удобрения. При производстве суперфосфата кислотность удобрения устраняют добавлением извести, мела, фосфоритной муки или аммиака, получая в последнем случае **аммонизированный суперфосфат**.

Качество суперфосфата оценивается, главным образом, по содержанию в нем водорастворимых соединений (дигидрофосфата кальция и фосфорной кислоты), содержание которых должно составлять 75–90% от усвояемых форм фосфора, остальные 10–25% P_2O_5 представлены, главным образом, гидрофосфатом кальция ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Суперфосфат простой – хорошее удобрение для всех культур, особенно отзывчивых на серу. Его применяют в качестве основного и припосевного (в рядки) удобрения. Опыты показывают, что эффективность 10–15 кг P_2O_5 , внесенного в рядки, равноценна втрое большей дозе фосфора, внесенного вразброс. Из-за низкой концентрации простой суперфосфат является малотранспортабельным.

Двойной суперфосфат - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в соответствии с ГОСТом 16306-80 содержит 42–47% P_2O_5 , до 6,5% свободной фосфорной кислоты, не более 3% воды. В нем нет сульфата кальция. Это прочные гранулы светло-серого цвета, 90% которых имеют размер менее 6 мм. Это удобрение получается воздействием на фосфатное сырье экстракционной (технической) фосфорной кислотой.

Двойной суперфосфат – исключительно ценное, транспортабельное, экономически выгодное удобрение. Стоимость 1 т P_2O_5 двойного суперфосфата на 6–13% выше, чем простого, а из-за экономии на транспортировке и хранении – оказывается на 8–13% ниже.

Физические, химические свойства, применение и агрономическая эффективность простого и двойного суперфосфата практически одинаковы, но в районах с пониженной обеспеченностью серой и на культурах с высокой

потребностью в ней (бобовые, капустные) эффективность простого суперфосфата может быть выше из-за наличия в нем серы. Поэтому надо сочетать применение двойного суперфосфата с удобрениями, содержащими серу (сульфат аммония, сульфат калия и др.).

Аммонизированный суперфосфат. Состав его зависит от количества добавленного аммиака. При нейтрализации свободной кислотности суперфосфата (H_3PO_4) образуется дигидрофосфат аммония ($NH_4H_2PO_4$) и содержание водорастворимого фосфора в удобрении не уменьшается. Удобрение, полученное на базе суперфосфата из фосфоритов Каратау, должно содержать не менее 14% усвояемого фосфора и не более 2,5% азота.

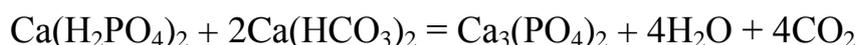
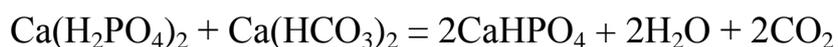
Аммонизированный суперфосфат имеет хорошие физические свойства и является ценным компонентом для приготовления смешанных удобрений. Плотность 1,1–1,2 т/м³. Перевозить его нужно в полиэтиленовых или четырехслойных бумажных мешках.

На основе простого и двойного суперфосфатов промышленностью освоен выпуск суперфосфатов, содержащих микроэлементы – бор, молибден, марганец (**борный, молибденизированный, марганизированный суперфосфаты**). Содержание микроэлементов в этих удобрениях составляет 0,2–0,4%.

Суперфос – новое концентрированное фосфорное удобрение, содержит 38–40% P_2O_5 , половина которого находится в водорастворимой форме. Получают его путем неполного кислотного разложения фосфатного сырья (можно использовать низкопроцентные конкреционные фосфориты). Технология его получения относится к ряду энерго- и ресурсосберегающих, позволяющих существенно снизить не только расход фосфорной кислоты и апатитового концентрата, но и сократить объемы образующихся твердых (фосфогипс) жидких (некондиционные фторсодержащие растворы) и газообразных (выхлопные газы) отходов производства, что характеризует ее как экологически более выдержанную. По эффективности суперфос не уступает суперфосфату.

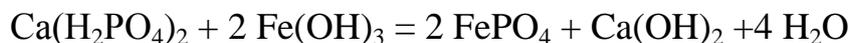
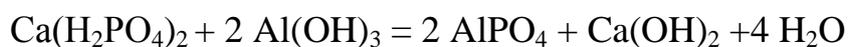
Взаимодействие водорастворимых фосфорных удобрений с почвой.

Водорастворимые фосфорные удобрения при внесении в почву тут же вступают с ней во взаимодействие, включаясь в процессы обменного поглощения на поверхности почвенных коллоидов, богатых полуторными окислами (обменная адсорбция). Со временем преобладающим становится химическое поглощение, в процессе которого растворимые в воде соединения фосфора переходят в соединения с меньшей растворимостью, то есть, происходит ретроградация (химическое поглощение) фосфора. В почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией, насыщенных основаниями и содержащих бикарбонат кальция, суперфосфат превращается в двухзамещенный и трехзамещенный фосфаты кальция (CaHPO_4 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).



Образующиеся соли имеют разную доступность растениям: двухзамещенный фосфат кальция более доступен, чем трехзамещенный.

На дерново-подзолистых почвах, богатых подвижными формами алюминия и железа, применение суперфосфата сопровождается образованием труднорастворимых и гораздо менее доступных растениям фосфатов алюминия и железа:



Чем больше содержание в почве подвижных форм алюминия и железа, тем сильнее происходит химическое поглощение фосфорной кислоты суперфосфата. Такое связывание фосфора приводит к снижению его действия на растения.

По энергии поглощения фосфора растворимых удобрений почвы располагаются в следующий ряд: красноземы > подзолистые почвы >

черноземы > сероземы. Для насыщения почвы фосфором и прекращения его фиксации необходимо внести 5–10 т P_2O_5 на 1 гектар – задача нереальная.

Следует отметить, что при внесении суперфосфата в почвах одновременно образуются как фосфаты алюминия и железа, так и малорастворимые фосфаты кальция. В кислых почвах – больше фосфатов алюминия и железа, в нейтральных и слабощелочных – фосфатов кальция, которые по доступности для растений имеют преимущество. Усвоение растениями фосфора из фосфата алюминия составляет примерно 10% от усвоения его из дигидрофосфата кальция (Кудеярова, 1995).

При систематическом использовании удобрений более быстрыми темпами накапливаются фосфаты алюминия, затем фосфаты железа и фосфаты кальция (Бабарина, 1971).

Фосфорные удобрения, имеющие растворимые в воде формы фосфора, в почве сначала образуют некоторые метастабильные формы фосфатов, которые со временем переходят в стабильные, природные, характерные для данной почвы формы, при этом растворимость свежесоздаваемых Al,Fe-фосфатов снижается (старение осадков), как и их действие на растения. При переходе pH почвы от 2,5–3,5 к 6,5–10 растворимость фосфатов кальция снижается, а фосфатов алюминия и железа – повышается.

Снизить химическую фиксацию фосфора почвой и повысить усвоение его растениями можно, используя следующие технологические приемы:

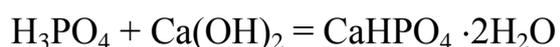
- гранулирование удобрений;
- известкование кислых почв;
- использование локальных способов внесения удобрений;
- помещение удобрений во влагообеспеченный слой почвы, где находится основная масса деятельных корней растений;
- сочетание в севообороте фосфорных и органических удобрений;
- оптимизация минерального питания растений всеми элементами;
- снижает химическое поглощение фосфора присутствие растворимых кремнекислых солей.

Фосфорная кислота может также закрепляться в телах микроорганизмов и растений (биологическое поглощение).

Суперфосфаты можно использовать как основное удобрение вразброс и локально, в рядки при посеве культур. Подкормка фосфором имеет ограниченное значение. Важным приемом повышения эффективности суперфосфата является локальное (ленточное) внесение основной дозы при посеве. В опытах, проведенных на дерново-подзолистой почве Смоленской области прибавки урожая картофеля при внесении удобрений вразброс составили 3,2 т/га, а локально – 6,2 т/га.

Лучшим приемом использования суперфоса является основное внесение, не исключено внесение в рядки, но эффективность этого приема ниже, чем при использовании суперфосфата.

Фосфорные удобрения нерастворимые в воде, но растворимые в слабых кислотах. *Преципитат* – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от качества исходного сырья содержит от 25–27 до 30–35% P_2O_5 , растворимого в лимоннокислом аммонии и доступного растениям. По внешнему виду преципитат – порошок белого или светло-серого цвета. Получается нейтрализацией фосфорной кислоты известковым молоком:



Преципитат обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, хорошо рассеивается. Он не растворяется в воде, но хорошо доступен для растений, особенно на кислых почвах, где имеет преимущество перед суперфосфатом за счет меньшего химического связывания почвой. Вносят его под вспашку или культивацию в тех же дозах по фосфору, что и суперфосфат. Для внесения в рядки и в подкормки – не рекомендуется.

Томасшлак – $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ или $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ содержит от 7–8 до 16–20% цитратнорастворимого фосфора, что составляет 75–90% от общего фосфора. Является побочным продуктом переработки чугуна в сталь щелочным методом Томаса.

По внешнему виду это тяжелый порошок темного цвета. В удобрении много кремнекислого кальция, есть примесь соединений железа, алюминия, ванадия, магния, марганца, молибдена и других элементов. Оно имеет сильнощелочную реакцию, в связи с этим лучше действует на кислых почвах. При внесении в почву тетракальциевый фосфат шлака взаимодействует с почвенной углекислотой и постепенно переходит в состав свежесозданного трикальцийфосфата, который доступен растениям.

Из-за щелочной реакции его нельзя смешивать с аммонийными азотными удобрениями, чтобы не было потерь азота (в виде аммиака).

Используют его только в качестве основного удобрения с внесением разбросом ежегодно и в запас. Для локального способа внесения – не пригоден.

Мартеновский фосфатшлак – побочный продукт при получении стали из чугуна в мартеновском производстве, где для связывания фосфора используют известь. Содержание фосфора – низкое (от 8 до 12% P_2O_5) и почти весь он находится в цитратнорастворимой форме. Фосфатшлак содержит также 33–46% CaO и MgO, около 20% кремния в усвояемой для растений форме, ряд микроэлементов. По внешнему виду это тяжелый порошок темного цвета. Он имеет сильнощелочную реакцию, поэтому больше подходит для использования на кислых почвах. Применяется только в качестве основного удобрения при внесении разбросным способом ежегодно и в запас, не пригоден для локального внесения.

Мартеновский фосфатшлак и томасшлак в ассортименте фосфорных удобрений имеют небольшой удельный вес. Вместе с тем в России в отвалах имеется свыше 450 млн. т этих материалов.

Обесфторенный фосфат получают при термической обработке (1450–1550 °C) апатита или фосфорита в присутствии водяного пара и кремнезема. Происходит разрушение кристаллической решетки минерала. В полученном продукте в зависимости от исходного сырья содержится от 20–22% (из фосфорита) до 30–32% (из апатита) цитратнорастворимого фосфора, что составляет 70–90% от общего.

По внешнему виду это порошок светло-серого цвета. Удобрение имеет хорошие физические свойства: рассыпчато, не гигроскопично, не слеживается, не содержит свободной кислоты. Рекомендуются для основного внесения на всех почвах и под все сельскохозяйственные культуры, особенно в Нечерноземной зоне. Обесфторенный фосфат не пригоден для внесения в рядки и в подкормку. Его вносят только вразброс с последующей заделкой в почву, но главным образом используют для минеральной подкормки животных.

Фосфорные удобрения, растворимые только в сильных кислотах.

Фосфоритная мука [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ с примесью $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$] – самое дешевое из всех фосфорных удобрений. Себестоимость 1 т P_2O_5 фосфоритной муки в 2–4 раза ниже, чем водорастворимых фосфорных удобрений. Затраты энергии на ее получение в 8–10 раз ниже, чем при производстве суперфосфатов. Представляет собой измельченные до состояния тонкой муки, как правило, малопригодные для химической переработки природные фосфориты или продукты их обогащения. До 80% частиц фосфоритной муки должно проходить через сито с диаметром 0,17 мм. Содержание P_2O_5 в ней может изменяться в широких пределах: высший сорт – 28–30%, первый – 22–24, второй сорт – 19–21%.

По внешнему виду это сухой, тяжелый, пылящий порошок землисто-серого цвета, не слеживается. Фосфоритную муку можно смешивать с любыми удобрениями, кроме извести. Плохо рассеивается туковыми сеялками, при влажности более 3% почти полностью теряет сыпучесть. Для снижения пылящих свойств имеются различные приемы:

– выпуск в виде гранул, но при этом уменьшается площадь контакта удобрения с почвой и снижается эффективность удобрения;

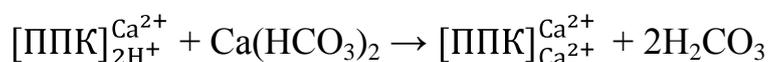
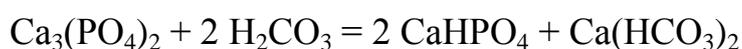
– смешивание с физиологически кислыми удобрениями с последующей грануляцией (повышается содержание лимонно-растворимого фосфора в 1,5 раза);

– использование совместно с органическими удобрениями;

– введение фосфоритной муки в состав компостов (навозно-фосфоритные, торфо-навозно-фосфоритные и др.).

Приоритет в области изучения фосфоритной муки, вскрытия причин, определяющих ее эффективность, установления ареала возможного применения принадлежит А.Н. Энгельгардту, П.С. Коссовичу, К.К. Гедройцу, Д.Н. Прянишникову, А.Н. Лебедевцу, Б.А. Голубеву.

Основным механизмом действия фосфоритной муки является кислотность почвы. Процесс разложения фосфоритной муки в кислой почве можно описать уравнениями:



С повышением гидролитической кислотности растет эффективность фосфоритной муки. Действие ее зависит не только от кислотности почвы, но и от емкости поглощения и насыщенности почвы основаниями. При одной и той же гидролитической кислотности действие фосфоритной муки тем выше, чем меньше емкость поглощения. Графически эта зависимость представлена на рисунке 17.

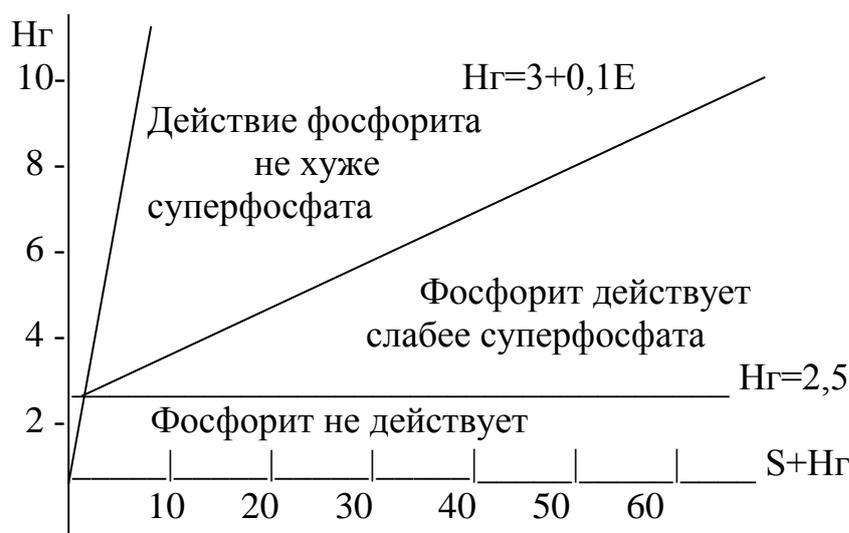


Рисунок 17 – Зависимость действия фосфоритной муки от гидролитической кислотности (Нг) и емкости поглощения почвы (E=S+Нг)

Эффективность фосфоритной муки зависит от тонины помола, которая определяет контакт удобрения с почвой (чем тоньше помол, тем плотнее контакт удобрения с почвой и эффективнее удобрение), от происхождения (кристаллические фосфориты менее эффективны, чем аморфные). При совместном внесении фосфоритной муки с физиологически кислыми удобрениями его фосфор становится более доступным растениям.

Большинство растений могут использовать фосфорит только при определенной кислотности почвы, достаточной для его разложения. Только некоторые культуры (люпин, горчица, гречиха и, в меньшей мере, горох и конопля) способны усваивать его фосфор независимо от кислотности почвы. Это объясняется повышенным потреблением кальция этими культурами. Способность растений усваивать труднорастворимые фосфаты с возрастом повышается. Считается, что она зависит от количества и кислотности корневых выделений растений.

Фосфоритную муку необходимо широко использовать, прежде всего, в Нечерноземной полосе при основном внесении, а также для проведения фосфоритования кислых почв. Целью фосфоритования является повышение содержания фосфора в почве. Этот прием используют на почвах с $pH_{КСI}$ менее 5,5, гидролитической кислотностью более 2,5 мэкв/100 г почвы и при содержании подвижных фосфатов по Кирсанову менее 50 мг/кг почвы. Фосфоритную муку вносят в дозах 1,5–3,5 т/га один раз в 5–6 лет под наиболее отзывчивые на фосфор культуры (люпин, гречиху, озимую рожь), а также при коренном улучшении сенокосов и пастбищ, при освоении новых низко плодородных земель, при закладке садов и ягодников. В севообороте фосфоритование лучше всего проводить в пару под озимые культуры и яровые с подсевом многолетних трав.

Для повышения содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве на 10 мг/кг почвы следует в зависимости от ее гранулометрического состава внести от 50–60 (на супесчаных и песчаных) до 100–120 кг/га P_2O_5 (на тяжелосуглинистых и глинистых). Дозу фосфора определяют по формуле:

$$D = (B - A) : 10 \times C,$$

где D – доза P_2O_5 (кг/га), B – планируемый уровень содержания P_2O_5 в почве (мг/кг), A – фактическое содержание P_2O_5 (мг/кг почвы), C – расход P_2O_5 для повышения его содержания на 10 мг/кг почвы.

На кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах, красноземах и выщелоченных черноземах при внесении в удвоенных дозах фосфоритная мука не уступает суперфосфату.

Предвидя сложность проблемы с обеспечением российского земледелия фосфорными удобрениями, Д.Н. Прянишников писал: *«...наше внимание должно быть, где только возможно, обращено на самый дешевый источник фосфора – на фосфориты».*

Вивианит (болотная руда) $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (фосфорнокислая закисная соль железа) содержит около 28% P_2O_5 . Встречается под слоем торфа в виде белесой массы. При высыхании легко разрыхляется и неплохо рассеивается. Является хорошим источником фосфора для растений на почвах с повышенной кислотностью. Может использоваться как основное удобрение разбросным способом.

Фосфор из минеральных удобрений усваивается в первый год на 10–20%. Хорошо выражено последствие, особенно нерастворимых в воде удобрений. Например, фосфоритная мука может оказывать положительное действие на урожайность сельскохозяйственных культур в течение 10–15, а иногда и более лет. Чаще всего при определении доз фосфорных удобрений учитывают трех – четырехлетнюю продолжительность их действия.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основное сырье для получения фосфорных удобрений.
2. Перечислите основные месторождения фосфатных руд СНГ.
3. Назовите основные направления переработки фосфатных руд.
4. Как классифицируют фосфорные удобрения?
5. Какие виды суперфосфатов вы знаете?
6. Обоснуйте различия в использовании суперфосфата и преципитата.
7. Сравните характер взаимодействия фосфоритной муки и суперфосфата с почвой и сделайте практические выводы по их применению.

8. Какие условия влияют на эффективность фосфорных удобрений? Приведите примеры.
9. Что такое ретроградация фосфора? Назовите пути ее снижения.
10. Расположите фосфорные удобрения в порядке снижения их растворимости в воде: фосфоритная мука, суперфосфат, суперфос, преципитат.
11. Почему суперфосфат выпускают в гранулированном виде, а фосфоритную муку, преципитат, обезфторенный фосфат – в порошковидном?
12. Какие фосфорные удобрения можно вносить локально и почему?
13. Что такое фосфоритование почв и какова его цель? При каких условиях и каким удобрением оно проводится?

2.1.6 КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Основными производителями и экспортерами калийных удобрений являются шесть стран: Канада, Россия, Белоруссия, Германия, Израиль и Иордания.

Калийные удобрения подразделяют на концентрированные, сырые калийные соли, отходы промышленности, содержащие калий (рис. 18).

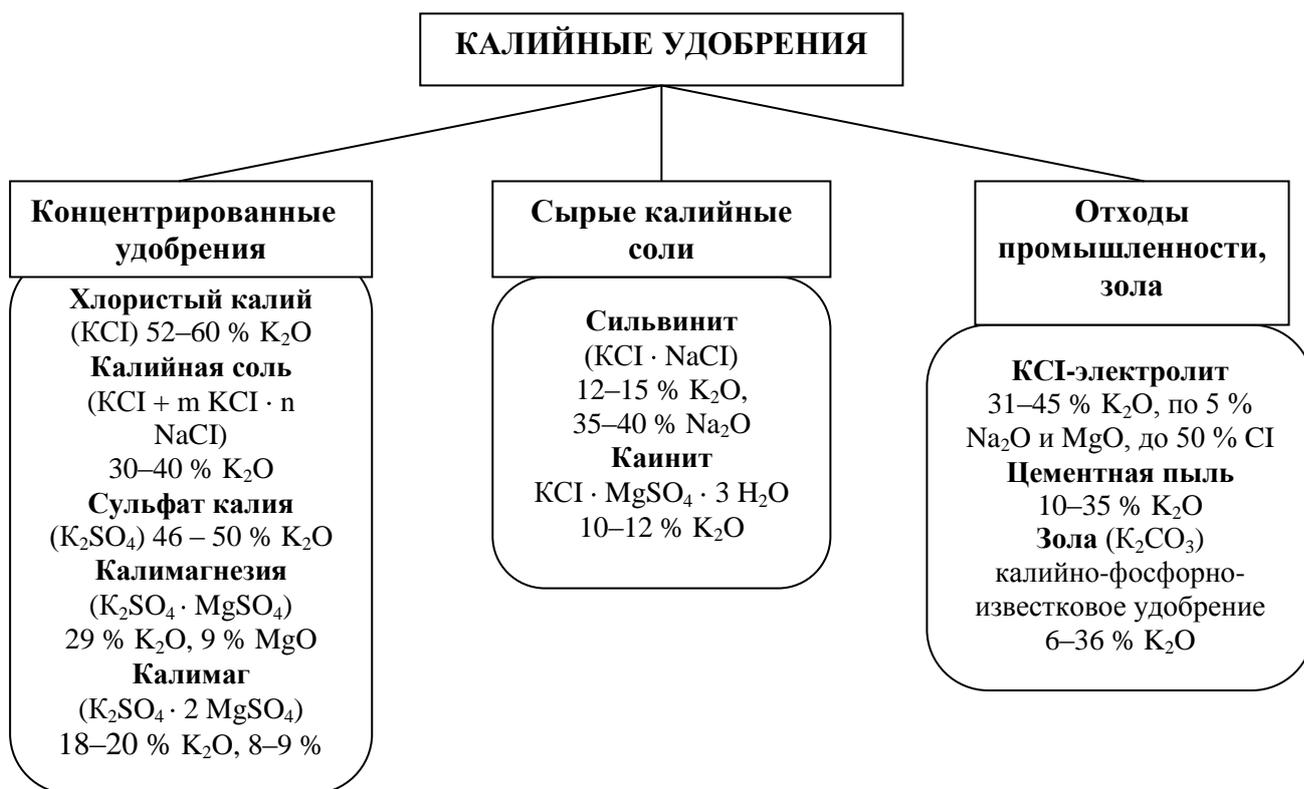


Рисунок 18 – Классификация калийных удобрений

Концентрированные калийные удобрения получают заводской переработкой калийных руд. В ассортименте калийных удобрений 80–90%

приходится на самое концентрированное удобрение – *хлористый калий* (KCl), который содержит 52–60% K₂O, 0,5% воды (ГОСТ 4568-95). Выпускается в виде мелких кристаллов или спрессованных частиц (95% размером 2–4 мм). Получают его из сильвинита методом перекристаллизации (галургическим) – марка «К» или флотации – марка «Ф». Цвет удобрения – серовато-белый (марка К) или красно-бурый разных оттенков (марка Ф). Удобрение хорошо растворимо в воде. Хлористый калий марки «Ф» дешевле, имеет меньшую гигроскопичность и слеживаемость.

Калийная соль содержит 30 или 40% K₂O, 40%-ная калийная соль дополнительно содержит 20% Na₂O и 50% Cl и дает хороший эффект при внесении под отзывчивые на натрий культуры (сахарную свеклу, корнеплоды, томат, капусту, злаковые травы). Калийную соль (40%-ную) получают смешиванием хлорида калия с размолотым сильвинитом (KCl + mKCl·nNaCl), 30%-ную калийную соль – с каинитом (KCl + KCl·MgSO₄·3H₂O), поэтому удобрение содержит магний и ценно для требовательных к нему культур, особенно на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах. Калийные соли не слеживаются, содержат микроэлементы (бор, бром, йод).

Калийная соль содержит хлора больше, чем хлористый калий, поэтому для внесения под чувствительные к нему (хлорофобные) культуры (картофель, лен, табак, citrusовые, ягодные и др.) мало пригодна. Для исключения отрицательного влияния хлора на качество этих культур хлорсодержащие удобрения следует вносить заблаговременно, например, осенью под зябь, чтобы за период осенне-весенних осадков хлор успел вымыться за пределы корнеобитаемого слоя почвы. Калий поглощается ППК и удерживается от вымывания:



Исключение составляют песчаные и супесчаные почвы, имеющие малую емкость поглощения. На этих почвах калийные удобрения следует вносить весной под культивацию. Калий, находящийся в обменно-поглощенном

состоянии, остается доступным растениям. Степень использования растениями калия из удобрений – 60–70%.

Лучшими формами калийных удобрений для чувствительных к хлору культур являются бесхлорные.

Калимагнезия (сульфат калия-магния, шенит) $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ содержит 29% K_2O и 9% MgO . Получается из каинито-лангбейнитовой породы. Это белый, сильно пылящий порошок или гранулы с сероватым или розовым оттенком. Удобрение может транспортироваться в мешках или насыпью, так как не гигроскопично и не слеживается. В первую очередь калимагнезия используется под хлорофобные культуры или на легких почвах, так как содержит магний.

Калимаг (калийно-магнезиальный концентрат) $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$. Содержит 18–20% K_2O и 8–9% MgO . Имеет хорошие физические свойства: не слеживается, негигроскопичен, поэтому может транспортироваться насыпью. Выпускается в виде гранул серого цвета. Не содержит хлор. Используется так же, как калимагнезия и приближается к ней по эффективности.

Сырые калийные соли получают путем размола природных калийных солей, поэтому они имеют низкое содержание калия, высокое – хлора и большое количество примесей. Наиболее распространенными удобрениями этой группы являются сильвинит и каинит.

Сильвинит $nKCl \cdot mNaCl$. Содержит 12–15% K_2O и 35–40% Na_2O . Выпускается в виде смеси белых, розовых и синих кристаллов размером 1–5 мм и более. Незначительно гигроскопичен, способен слеживаться. Из-за низкой концентрации калия сильвинит малотранспортабелен. Является хорошим удобрением для сахарной свеклы, кормовых и столовых корнеплодов, некоторых овощных культур, положительно реагирующих на натрий. Из-за высокого содержания хлора его лучше использовать для основного внесения осенью.

Каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ с примесью других солей ($NaCl$, $CaSO_4$, $MgSO_4$), содержит 10–12% K_2O . Используется лишь в районах добычи, в

ограниченных размерах. Благодаря примеси $MgSO_4$ и $NaCl$ внесение каинита под сахарную свеклу и другие корнеплоды, капусту, клевер дает хорошие результаты, особенно на легких почвах. Удобрение рекомендуется перевозить насыпью в крытых вагонах. Целесообразно применять только как основное удобрение с осени под зяблевую вспашку для своевременного удаления хлора из зоны развития корней растений.

Природные руды сильвинит и каинит в основном используются для получения высококонцентрированных удобрений.

Отходы промышленности, богатые калием. При производстве магния из карналлита образуется отход, представляющий собой смесь KCl , $NaCl$ и $MgCl_2$, которая используется в качестве удобрения под названием *хлоркалий-электролит*. Это удобрение содержит 31–45% K_2O , по 5% MgO и Na_2O и до 50% хлора. В качестве основного удобрения при внесении с осени может применяться под все культуры.

Цементная калийная пыль отход цементных заводов, содержит 10–15% K_2O . Соединения калия в пыли представлены карбонатами, бикарбонатами, сульфатами и, в меньшей степени, силикатами калия. Рекомендуется применять на кислых дерново-подзолистых почвах в качестве основного удобрения.

Зола – калийно-фосфорно-известковое местное удобрение, получаемое от сжигания дров, торфа, соломы. Калий в золе находится в виде поташа (K_2CO_3), хорошо растворимого в воде. Зола не содержит хлор, поэтому является лучшим удобрением для хлорофобных культур. Содержание калия колеблется в широких пределах (табл. 12).

Зола может применяться на всех почвах и под все культуры: картофель, овощные, многолетние травы, особенно эффективна на кислых, бедных калием песчаных и супесчаных почвах. Ее можно использовать в качестве основного удобрения осенью или весной, а также в подкормку пропашных культур при междурядных обработках, озимых зерновых и многолетних трав рано весной (поверхностно). Для улучшения качества компостов в них можно вместо извести добавлять золу (3–4% массы компостируемого материала).

Все калийные удобрения являются физиологически кислыми, но их кислотность меньше, чем аммонийных азотных удобрений и проявляется при длительном использовании. Подкисление почвенного раствора происходит и при взаимодействии удобрений с почвами, ненасыщенными основаниями, в результате образования кислот (H_2SO_4 , HCl) и гидролитически кислой соли $AlCl_3$:

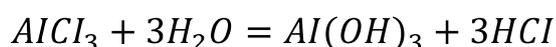


Таблица 12 – Состав золы разных видов топлива, %
(по разным источникам)

Зола	K_2O	P_2O_5	CaO
Соломы:			
пшеничной	13,6	6,4	5,9
ржаной	16,2	4,7	8,5
гречишной	35,3	2,5	18,5
Стеблей подсолнечника	36,3	2,5	18,5
Дров:			
березовых	13,8	7,1	36,3
сосновых	6,9	2,0	31,8
еловых	3,2	2,4	25,3
ивовых	4,6	2,1	43,5
Навоза, кизяка	1,0	5,0	9,0
Торфа:			
низинного	1,0	1,2	20,0
верхового	0,3	0,5	3,0
Каменного угля	0,1 – 0,4	0,1 – 0,4	-

Калий способен поглощаться почвой не только обменно, но и необменно, фиксируясь глинистыми минералами, особенно при попеременном увлажнении и высушивании почвы. Наиболее активно этот процесс протекает сразу после внесения удобрений. При заполнении емкости поглощения фиксация калия снижается. В зависимости от минералогического состава почв и доз калийных удобрений почвой не зависимо от формы удобрения может фиксироваться от 14 до 82% внесенного калия (Пчелкин, 1966).

Калий ограниченно мигрирует по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв. Слабая миграция калия и фиксация его глинистыми минералами являются причинами, по которым калийные удобрения являются гораздо более эффективными при внесении до посева в качестве основного, чем в подкормку. Только на легких почвах при орошении целесообразны подкормки калийными удобрениями пропашных культур.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основное сырье для получения калийных удобрений и месторождения калийных руд.
2. Назовите основные направления переработки калийных руд.
3. Как получают хлористый калий? Каковы свойства и особенности применения этого удобрения?
4. Какова физиологическая реакция калийных удобрений и чем она объясняется?
5. Расскажите о составе, свойствах и применении сульфата калия и калийной соли.
6. Опишите механизм взаимодействия калийных удобрений с почвой.
7. Расскажите об особенностях применения калийных удобрений под разные сельскохозяйственные культуры.

2.1.7 МИКРОУДОБРЕНИЯ

Потребность земледелия в микроудобрениях обусловлена рядом причин:

1. С повышением урожайности сельскохозяйственных культур из почвы больше выносятся макро- и микроэлементов. Если вынос основных макроэлементов компенсируется внесением органических и минеральных удобрений, то микроудобрений пока вносится мало.
2. Известкование кислых почв снижает подвижность и доступность растениям бора, меди, марганца, цинка.
3. При высоких дозах азотных удобрений возрастает потребность растений в молибдене и меди; фосфорных – цинка и меди; калийных – бора.
4. Высококонцентрированные минеральные удобрения лучше очищены, содержат меньше примесей, в том числе микроэлементов.
5. Высокоинтенсивные сорта сельскохозяйственных культур имеют повышенную потребность в микроэлементах.

Развитие представлений о роли микроэлементов в жизни растений, критериях необходимости внесения и разработка ассортимента микроудобрений связаны с именами Е.В. Бобко, Я.В. Пейве, М.В. Каталымова, О.К. Кедрова-Зихмана, М.Я. Школьника, Б.А. Ягодина и др.

Роль микроэлементов в растениях, в целом, можно охарактеризовать их участием в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обмене, в образовании хлорофилла, они входят в состав многих ферментов, витаминов, влияют на проницаемость клеточных мембран и поступление элементов питания в растение, повышают устойчивость растений к болезням, засухе, низким и высоким температурам. Недостаток микроэлементов снижает урожайность сельскохозяйственных культур и ухудшает качество продукции.

Наибольшее применение в земледелии России получили борные, медные, молибденовые, цинковые, марганцевые удобрения (рис. 19).

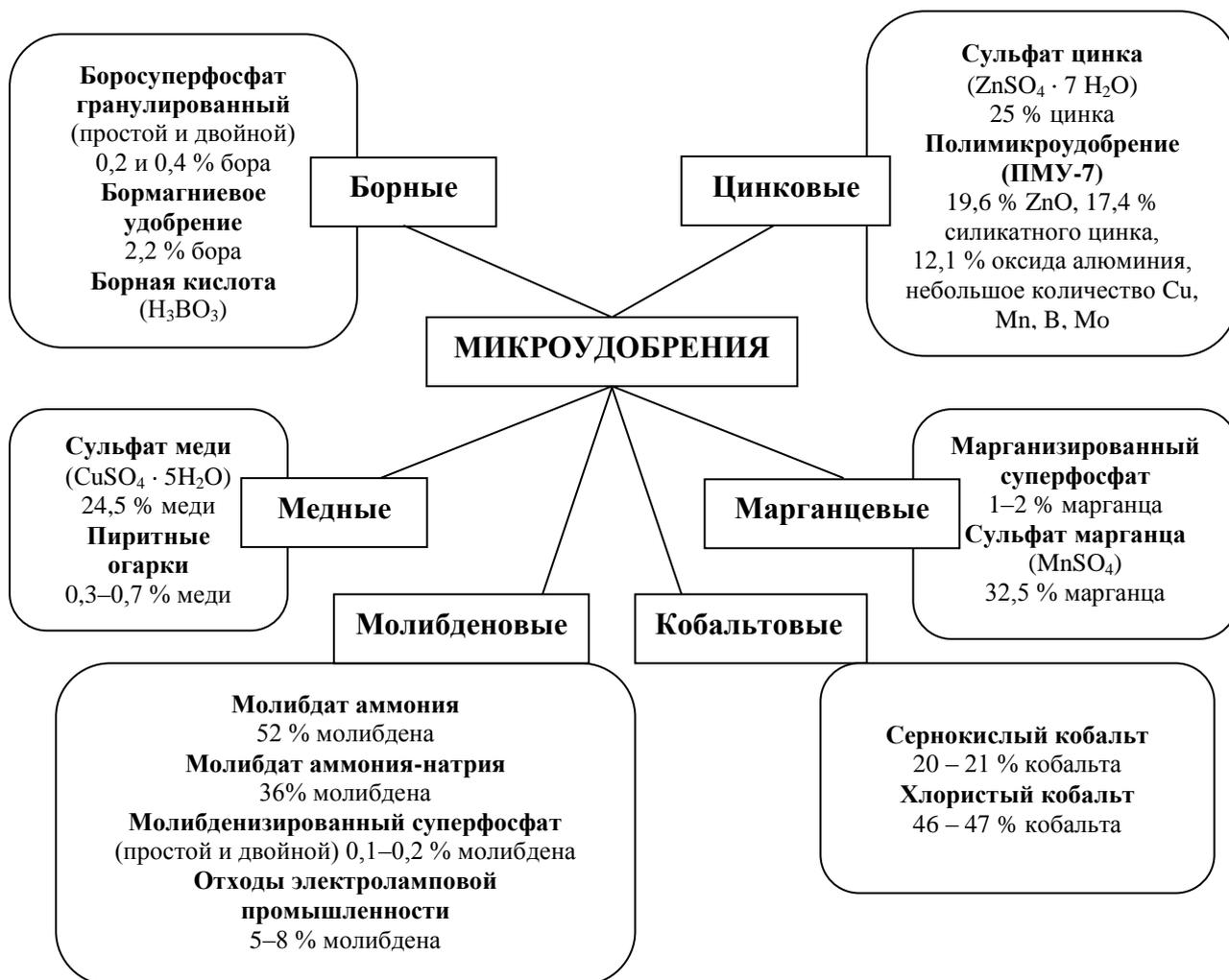


Рисунок 19 – Классификация микроудобрений

Источником микроэлементов являются также органические и некоторые минеральные макроудобрения. По данным литовских исследователей в 1 т навоза крупного рогатого скота содержится (г): марганца – 113, цинка – 38, меди – 8, бора – 4, в 1 т свиного навоза – 103, 69, 13 и 3, соответственно. Растет доля простых и комплексных удобрений, содержащих микроэлементы (аммофос с медью, аммофос с цинком, КАС с медью и др.), на долю которых придется 60–70% микроудобрений, остальные 30–40% микроудобрений представлены чистыми солями. Средние прибавки урожаев от микроудобрений составляют не менее 10–12%.

Одним из критериев правильного применения микроудобрений является содержание подвижных форм микроэлементов в почве. Для дерново-подзолистых почв приняты следующие уровни обеспеченности микроэлементами (табл. 13).

Подвижные формы микроэлементов составляют 10–15% от валовых запасов микроэлементов в почве (для бора – 2–4%). Усваивается же растениями менее 1% от запаса подвижных форм.

Таблица 13 – Группировка дерново-подзолистых почв по содержанию подвижных форм микроэлементов (мг/кг) (по Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькису)

Обеспеченность	В в водной вытяжке	Мо в оксалатной вытяжке	Сu в вытяжке 1 н. КСl	Mn в вытяжке 0,1 н. H ₂ SO ₄	Zn в вытяжке 1 н. КСl
Очень низкая	<0,1	< 0,05	< 0,3	< 1	< 0,2
Низкая	0,1–0,2	0,05–0,15	0,3–1,5	1–10	0,2–1
Средняя	0,3–0,5	0,2–0,25	2–3	20–50	2–3
Высокая	0,6–1,0	0,3–0,5	4–7	60–100	4–5
Очень высокая	> 1,0	> 0,5	> 7	> 100	> 5

Наиболее обеспечены марганцем дерново-подзолистые почвы – 50–150 мг/кг. Его недостаток может проявляться лишь на карбонатных и известкованных дерново-подзолистых почвах. В черноземах содержание марганца составляет 1–75 мг/кг почвы.

По данным Агрохимической службы России недостаточным содержанием бора характеризуются 57% почв, медью – 65%, молибденом – 86, цинком – 94, марганцем – 53%. Во внесении микроудобрений нуждаются более 50% почв Нечерноземной зоны. Общая потребность в микроудобрениях оценивается почти в 10 тыс. тонн питательных веществ. Наибольший удельный вес принадлежит бору (4800 тыс. т) и меди (3063 тыс. т).

Для почв Смоленской области общая потребность в микроудобрениях составляет 140,6 тыс. тонн питательных веществ, в том числе бора – 77,1, молибдена – 16,8, меди – 46,7 тыс. тонн.

Наиболее бедны **бором** дерново-подзолистые, дерново-глеевые, заболоченные почвы легкого гранулометрического состава, выщелоченные черноземы, торфянистые, дерново-карбонатные почвы. Известкование кислых почв снижает подвижность бора в почве и усвоение его растениями.

Высокая отзывчивость на внесение борных удобрений характерна для сахарной свеклы, льна, клевера, подсолнечника, гречихи, зернобобовых, овощных, плодово-ягодных культур. Слабо отзываются зерновые. При недостатке бора лен болеет бактериозом, свекла – гнилью сердечка, картофель – паршой, цветная капуста – коричневой гнилью соцветия, зерновые – головней и ржавчиной.

Зона дерново-подзолистых почв характеризуется наименьшим содержанием подвижной **меди**: от 0,05 до 5 мг/кг. Наибольшая потребность в этом элементе проявляется на осушенных торфяно-болотных, дерново-глеевых, дерново-карбонатных, легких по гранулометрическому составу почвах. Известкование кислых почв снижает подвижность и усвояемость растениями меди. Наиболее отзывчивыми на медные удобрения культурами являются злаковые – ячмень, пшеница, овес, злаковые травы. При недостатке меди у злаковых развивается «болезнь обработки» или «белая чума», при которой наблюдается побеление и подсыхание верхних листьев, не развивается колос. Сено получается низкого качества, и при получении бедного медью корма животные заболевают «лизухой» и другими болезнями.

Потребность в **молибдене** проявляется, главным образом, на почвах Центрального, Северо-Западного, Уральского районов России, а также в Белоруссии и Украине при выращивании бобовых, зернобобовых, корнеплодов, рапса, капусты, салата. Бедны подвижными формами молибдена дерново-подзолистые почвы, серые лесные, выщелоченные черноземы, а также красноземы. Содержание молибдена в дерново-подзолистых почвах колеблется от 0,04 до 0,97 мг/кг почвы. В кислых почвах молибден образует с алюминием, железом и марганцем труднорастворимые соединения. Известкование кислых почв мобилизует запасы этого микроэлемента и зачастую делает ненужным внесение молибденовокислых солей.

Цинка больше всего содержится в тундровых почвах, меньше – в дерново-подзолистых, лесостепных, черноземах. Недостаток цинка проявляется в разных по кислотности и гумусированности почвах. Известкование и повышение содержания органических веществ в почве снижают подвижность цинка. Цинковые удобрения, прежде всего, применяют на нейтральных богатых гумусом почвах.

Наиболее требовательными к наличию в почве достаточных количеств цинка являются кукуруза, плодовые культуры, виноградная лоза, сахарная свекла, некоторые овощные культуры. При недостатке цинка появляется розеточность плодовых, побеление верхних листьев у кукурузы. Сорные растения накапливают цинка больше (до 140 мг/кг сухой массы), чем культурные (5–10 мг/кг). Наибольшее количество его обнаружено в ядовитых грибах.

Кобальт – элемент, необходимый для растений и животных. Он входит в состав витамина В₁₂, усиливает деятельность клубеньковых бактерий, входит в состав многих ферментов. Очень требовательными культурами к содержанию в почве кобальта являются сахарная свекла, люпин, картофель, зернобобовые и многолетние травы. При содержании в кормах менее 0,07 мг Со на 1 кг сухого вещества животные заболевают акобальтозом, признаками которого является расстройство пищеварения, анемия и истощение, ослабляется рост и развитие

животных, нарушается основной обмен, функции воспроизводства, деятельности центральной нервной системы, а также появляется склонность к инфекционным заболеваниям.

При участии железа и меди кобальт в организме человека и животных стимулирует выработку эритроцитов в костном мозге, регулирует деятельность нервной системы, предотвращает развитие психических заболеваний, уменьшает раздражительность и утомляемость; регулирует процессы метаболизма; улучшает деление клеток костной ткани и общее состояние костной системы; принимает участие в процессах синтеза РНК и ДНК; восстанавливает деятельность поджелудочной железы и смежных органов; Этот микроэлемент способен оказать антисклеротическое воздействие; повысить общий иммунитет; сыграть роль катализатора ферментов и их комплексов; помочь организму восстановиться после тяжелых травм или заболеваний; противостоять онкологическим заболеваниям.

Наиболее бедны кобальтом дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава. После известкования потребность в кобальте возрастает. Низким считается содержание в 1 кг почвы 1,0 мг кобальта и менее, средним – от 1,1 до 2,5, высоким – 2,6 – 3,0 и избыточным – более 3 мг/кг.

Основными кобальтовыми удобрениями являются сернокислый кобальт ($\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), содержащий 20–21% Co и хлористый кобальт (CoCl_2) – 46–47% Co.

Микроудобрения могут быть использованы для внесения в почву, предпосевной обработки семян и некорневых подкормок.

При недостатке микроэлементов в почве используют основное внесение микроудобрений. На среднеобеспеченных почвах применяют некорневую подкормку растений или предпосевную обработку семян. Подкормки микроудобрениями обычно совмещают с обработкой посевов средствами защиты растений.

Особенностью ассортимента микроудобрений является большой удельный вес химически относительно чистых солей, которые являются достаточно концентрированными и дорогими продуктами. Эти соли следует

использовать для предпосевной обработки семян, некорневой подкормки растений или введением в состав торфо-перегнойных горшочков при рассадном способе выращивания овощей. Остальные удобрения могут быть использованы для внесения в почву (табл. 14). Для сухой предпосевной обработки семян лучше использовать смесь соответствующей соли с тальком для лучшего прилипания ее к семенам.

Таблица 14 – Применение микроудобрений

Основное удобрение	Припосевное	Подкормка
Б о р н ы е		
0,5 кг/га В под лен, 1,0 кг/га В под клевер, 1–2,5 кг/га В под корнеплоды, овощные, плодово-ягодные на карбонатных почвах, а также при внесении высоких доз известки (двойной или простой гранулированный борный суперфосфат, бормагниево удобрение)	1. Намачивание в 0,005% растворе* H_3BO_3 семян корнеплодов, бобовых, в 0,002% – овощных и в 0,05% - льна. 2. Внесение простого гранулированного борного суперфосфата в рядки (50–100 кг/га). 3. Опудривание семян совместно с протравителями смесью 850 г талька и 150 г H_3BO_3 (на 1 ц семян). 4. В торфоперегнойную смесь для горшочков (1–2 г H_3BO_3 на 1 куб. м смеси).	1. Опрыскивание посевов раствором 200 г H_3BO_3 в 300-500 л воды (на 1 га). 2. Опыливание посевов: 0,5–1 кг H_3BO_3 на 1 га
М о л и б д е н о в ы е		
2–6 кг/га Мо под бобовые, капусту, картофель на дерново- подзолистых почвах (двойной или простой молибденизированный суперфосфат)	1. Опудривание семян совместно с протравителями: 10–20 г молибдата аммония (14–28 г молибдата аммония– натрия) на 1 ц крупносемянных бобовых культур; 250–400г (350–560 г) – на 1 ц мелкосемянных культур. 2. Опрыскивание семян 0,05–0,10% раствором молибдата аммония. 3. Внесение молибденизированного суперфосфата в рядки (50–100 кг/га простого, 25–50 кг/га двойного)	Опрыскивание посевов 0,02% раствором молибдата аммония (300–500 л/га)
М е д н ы е		
3–8 кг/га Сu (пиритные огарки,**) под зерновые и зернобобовые культуры на торфяных почвах и под ячмень, озимую пшеницу, тимофеевку, горох, фасоль, свеклу, турнепс, подсолнечник, отзывчивые на медь на бедных медью дерново-подзолистых почвах.	1. Намачивание семян в 0,001–0,05% растворе сульфата меди. 2. Опудривание семян совместно с протравителями 50–100 г/ц сульфата меди или смесью талька (300–600 г) и сульфата меди (50–100 г) на 1 ц. 3. Опрыскивание семян 0,01% раствором сульфата меди (10 л/ц)	Опрыскивание посевов культур 0,02–0,05% раствором сульфата меди (500 л/га)
Ц и н к о в ы е		
2,5–3 кг/га цинка под кукурузу, капусту, огурцы, свеклу, бобы, горох; 5,5–7,5 кг/га цинка под плодовые культуры	1. Опудривание семян кукурузы смесью 42 г сульфата цинка и 150 г талька (на 1 ц семян) 2. Опрыскивание семян 0,1% раствором сульфата цинка (5–10 л на 1 ц). 3. Опудривание семян ПМУ-7 (400 г/ц)	Опрыскивание посевов раствором сульфата цинка (30–50 г в 300– 500 л воды на 1 га).

* - борную кислоту следует растворять в горячей воде; ** - 5 – 6 ц/га 1 раз в 4 – 5 лет

Существенное значение микроэлементы имеют в защищенном грунте, особенно бор, молибден, медь, марганец, цинк, кобальт. Способы применения: внесение до посева (посадки) в грунт, предпосевная обработка семян, полив рассады и некорневые подкормки (табл. 15).

Таблица 15 – Дозы микроудобрений под овощные культуры в защищенном грунте

Удобрения	Внесение в грунт, кг/га		Намачивание семян	Некорневая подкормка	Полив рассады
	удобрения	элемента			
Бормагниевые	43	1	-	-	-
Борная кислота	6	1 (1 раз в 3–5 лет)	0,02–0,04	0,02–0,05	0,005–0,03
Сульфат меди	12	3	0,005–0,03	0,01–0,05	0,005–0,03
Сульфат марганца	10–12	3	0,02–0,2	0,05–0,2	0,01
Молибдат аммония	0,4–0,6	0,2–0,3	0,01–0,08	0,03–0,05	0,02
Сульфат цинка	6–8	2	0,02–0,05	0,02	0,005
Сульфат кобальта	0,9–1,4	0,3–0,5	-	0,02	-

Для обработки 1 ц семян расходуется 2–3 л соответствующего раствора. Намачивание семян проводят в течение около 24 часов при отношении массы семян к раствору 1:2. Некорневые подкормки проводят из расчета 300 л раствора на 1 гектар.

Недостатком микроудобрений, содержащих один элемент питания (микроэлемент), является трудность их применения в малых дозах, особенно при внесении в почву, когда трудно добиться равномерного распределения по поверхности поля. Макроудобрения, содержащие микроэлементы, сокращают затраты на внесение, имеют меньшую опасность локальной передозировки в случае неравномерного распределения по поверхности поля.

При использовании в качестве микроудобрений отходов промышленности (шлаков, пиритных огарков, осадков сточных вод и др.) необходим особенно тщательный агрохимический и санитарный контроль, так как они часто содержат не только биогенные, но и токсические элементы и соединения.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте роль микроэлементов в жизни растений.
2. Приведите группировку дерново-подзолистых почв по содержанию микроэлементов.
3. Назовите формы борных удобрений, дозы и способы их внесения.
4. Назовите почвы и сельскохозяйственные культуры, под которые необходимо внесение борных удобрений в первую очередь.
5. Перечислите медные удобрения. Какие почвы наиболее бедны медью?
6. Назовите почвы и сельскохозяйственные культуры, под которые необходимо внесение молибденовых удобрений в первую очередь.
7. Назовите формы и способы внесения молибденовых удобрений.
8. Назовите формы и способы внесения цинковых удобрений.

2.1.8 КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексными называют удобрения, содержащие два и более элемента питания: азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные, азотно-фосфорно-калийные, а также с включением микроэлементов. Комплексные удобрения имеют ряд преимуществ перед простыми удобрениями:

– они более концентрированные, а значит, более экономичные при упаковке, транспортировке, хранении, внесении (примерно на 10%);

– из-за наличия в одной грануле нескольких питательных элементов они более равномерно распределяются по полю и имеют лучшую позиционную доступность для растений питательных веществ;

– их можно применять под культуры, чувствительные к повышению осмотического давления почвенного раствора (лен, огурцы), т. к. не имеют или содержат мало хлора, натрия и других примесей;

– имеют высокую эффективность из-за наличия в очаге внесения нескольких питательных элементов.

Классификация комплексных удобрений дана на рисунке 20.

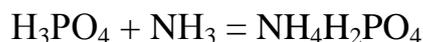
Сложные удобрения. Их производство организовано в 60-х годах XX столетия. Большая часть сложных удобрений выпускается на основе фосфорной кислоты (аммофос, нитроаммофос, нитроаммофоска), а также на основе азотнокислотного разложения фосфатного сырья (преимущественно

апатитов). Все сложные удобрения хорошо растворимы в воде и высокоэффективны на всех типах почв.



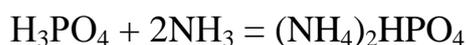
Рисунок 20 – Классификация комплексных удобрений

Аммофос (моноаммонийфосфат) получают нейтрализацией термической или экстракционной фосфорной кислоты аммиаком с последующей кристаллизацией и центрифугированием:



Удобрение содержит 10–12% N и 46–60% P₂O₅. Имеет хорошие физические свойства, физиологически кислое удобрение, хорошо совместимо со всеми удобрениями. Его нельзя смешивать со щелочными формами других удобрений из-за опасности потерь азота в виде аммиака. Является лучшим удобрением для льна. Используется для основного и рядкового внесения под зерновые, лен, сахарную свеклу и другие культуры.

При увеличении доли аммиака в процессе нейтрализации фосфорной кислоты получают **диаммофос** (диаммонийфосфат):



По внешнему виду это кристаллы белого цвета с содержанием общего оксида фосфора 52%, азота – не менее 18%, воды – не более 5% (ГОСТ 8515-75). Отличается от аммофоса более узким соотношением питательных веществ ($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5=1:2,8$). Может использоваться как допосевное и припосевное удобрение. Используется как кормовая добавка в животноводстве.

При добавлении к аммофосу и диаммофосу хлористого калия получают трехкомпонентные удобрения – аммофоску и диаммофоску.

Магнийаммонийфосфат (фосфоаммомагнезия) – MgNH_4PO_4 – слаборастворимое в воде удобрение, содержит 11% N, 25% MgO, 45% P_2O_5 . Пригодно для основного внесения, особенно на легких почвах бедных магнием под картофель, корнеплоды, овощные культуры. Эффективно в орошаемом земледелии и в условиях защищенного грунта при выращивании овощей.

Калийная селитра (азотнокислый калий) – KNO_3 . Содержит не менее 13,5% N и 37,6% K_2O и не более 0,2% воды (ГОСТ Р 53949-2010). По внешнему виду это белые кристаллы с желтовато-сероватым оттенком, хорошо растворимые в воде.

В ней нет балластных веществ, хлора, имеет хорошие физические свойства, физиологически щелочное удобрение. Наиболее широко используется в защищенном грунте.

Нитрофосы и нитрофоски получают при разложении природного фосфатного сырья азотной кислотой. Образующаяся смесь (пульпа) содержит нежелательную из-за высокой гигроскопичности примесь нитрата кальция, который необходимо преобразовать в другие соединения. Эта задача решается разными способами, в результате получают нитрофосы и нитрофоски: сульфатная, сернокислотная, фосфорная, вымороженная, карбонатная. В нашей стране выпускается преимущественно сульфатная нитрофоска и нитрофос.

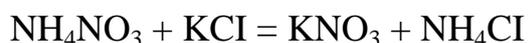
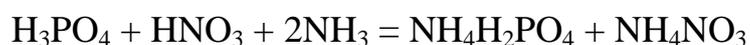
Для получения нитрофоса в пульпу вводят сульфат аммония. При дополнительном введении калийсодержащего компонента, например,

хлористого калия, получают нитрофоску. В состав каждой гранулы нитрофоски входят: NH_4NO_3 , KNO_3 , NH_4Cl , $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KCl , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Нитрофоска в соответствии с ГОСТом 11365-75 содержит не менее 11% азота и калия и 10% фосфора, 60% которого находится в водорастворимой форме, содержание воды – не более 1,5%. Удобрение выпускается в виде гранул розового цвета, размером 1–4 мм, хорошо растворимо в воде. Нитрофоску можно использовать как основное, припосевное (в рядки) удобрение и в подкормку.

Нитрофос выпускают с содержанием N и P_2O_5 : марка А – 23,5 и 17%, марка Б – 24 и 14% соответственно, уравновешенный нитрофос – по 22% (самая дорогая марка). Больше половины фосфора (55–65%) находится в водорастворимой форме. Нитрофос можно использовать как основное и припосевное удобрение на почвах, хорошо обеспеченных калием, под зерновые и кормовые культуры, а также на сенокосах и пастбищах.

Нитроаммофоска получается нейтрализацией аммиаком смеси азотной и фосфорной кислот с введением калийсодержащего компонента:



В соответствии с ГОСТом 19691-84 в зависимости от соотношения питательных веществ нитроаммофоску выпускают двух марок: А (1:1:1) и Б (1:1,5:1,5).

Нитроаммофоска отличается от нитрофоски более высоким содержанием питательных элементов (марка А по 17–18% N, P_2O_5 и K_2O , марка Б – 13–14% N и по 19–20% фосфора и калия), лучшей растворимостью в воде фосфорного компонента (до 90% от общего фосфора). Гранулометрический состав и внешний вид удобрения такой же, как нитрофоски. Ее можно применять на всех почвах под многие культуры как основное и припосевное удобрение.

Нитроаммофос получается по технологии нитроаммофоски, но без добавления хлористого калия. Содержит 16–25% N и 14–23% P_2O_5 . Эффективен на почвах хорошо обеспеченных калием.

Нитроаммофоски и нитроаммофосы имеют хорошие физические свойства и пригодны для механизированного внесения в почву.

Азофоска, выпускаемая Дорогобужским заводом азотных удобрений, содержит по 16% N, P₂O₅ и K₂O, Новгородским – 22% N и по 11% P₂O₅ и K₂O. В основе ее получения лежит разложение природных фосфатов азотной кислотой. Удобрение гранулированное, должно храниться в герметичной таре, так как на воздухе из-за повышенной гигроскопичности достаточно быстро теряется прочность гранул. Азофоску применяют как основное удобрение (вразброс или локально), при посеве или в подкормку под зерновые, картофель, сахарную свеклу и другие культуры.

Сложные удобрения эффективны при локальном внесении. Осенью лучше использовать удобрения с меньшим содержанием азота – 1:2:2, 1:2:1 или 1:4:0.

Сложно-смешанные удобрения получают путем обработки готовых удобрений (аммофоса, диаммофоса и др.) аммиаком, аммиакатами и кислотами (азотной, фосфорной, серной, полифосфорной и др.) с последующей грануляцией (90% гранул размером 1–3 мм), сушкой и покрытием гранул специальными добавками для обеспечения хороших физико-химических свойств. В результате можно получить самые разнообразные марки удобрений: 5:10:20, 5:20:20, 8:16:16, 8:24:0, 8:24:8, 10:20:0, 20:10:10, 15:15:15 и др.

Для овощеводства защищенного и открытого грунта, а также выращивания цветов предназначены такие комплексные удобрения, выпускаемые отечественной промышленностью, как **растворин** и **кристаллин**. Они хорошо растворяются в воде и содержат азот, фосфор, калий, магний и микроэлементы (Mn, Zn, Co, Cu, I и др.). Их состав приведен в таблице 16.

Смешанные удобрения Могут готовиться как на промышленных предприятиях, так и в хозяйствах. Эти удобрения представляют собой механическую смесь гранулированных или порошковидных готовых удобрений, содержащую два или более питательных элементов.

Таблица 16 – Состав разных марок раствора и кристаллина

Удобрение	Марка	Цвет удобрения	Содержание, %			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Растворин	А	Белый	10	5	20	6
	Б	Синий	18	6	18	-
	В	Желтый	13	40	13	-
	Г	Зеленый	16	16	16	-
	Д	Розовый	17	17	17	-
	Е	Лиловый	19	6	6	-
Кристаллин	А	Белый	10	5	20	6
	Б	Белый	18	6	18	-
	В	Белый	13	40	13	-
	Г	Белый	20	16	10	-

При смешивании удобрений необходимо соблюдать определенные правила. Не все удобрения можно смешивать так как в процессе приготовления и хранения компоненты смеси могут вступать в химическое взаимодействие друг с другом, приводящее к ухудшению физических свойств смеси или потерям питательных веществ. Ниже приведены возможные отрицательные последствия неправильного смешивания удобрений (табл. 17).

Таблица 17 – Последствия неправильного смешивания удобрений

Смешиваемые удобрения	Нежелательные изменения их свойств
Недостаточно сухие суперфосфат и аммиачная селитра или карбамид	Ухудшаются физические свойства: образуются плохо рассеиваемые влажные смеси
Калийные соли, томасшлак или фосфатшлак	Образуется сильно гигроскопичная соль CaCl ₂
Сульфат аммония и суперфосфат	При заблаговременном смешивании возможно «схватывание» массы образующимся гипсом
Сульфат аммония и хлористый калий	Смесь при заблаговременном смешивании может слеживаться
Суперфосфат и щелочные удобрения (томасшлак, фосфатшлак, цианамид кальция)	Происходит ретроградация фосфатов. Смешивание недопустимо ввиду ухудшения доступности растениям фосфат-ионов
Все аммиачные соли и щелочные удобрения	Потери аммиака. Смешивание недопустимо
Натриевая селитра и кислый суперфосфат (содержащий много свободной фосфорной кислоты)	Смешивание запрещается из-за потерь азота в виде оксидов, образующихся при взаимодействии компонентов смеси
Суперфосфат с аммиачной селитрой	Могут выделяться пары азотной кислоты и оксида азота. Образующийся нитрат кальция приводит к увеличению гигроскопичности смеси.

Для смешивания используют сухие удобрения с примерно одинаковым гранулометрическим составом. Смесь должна оставаться сухой, сыпучей, пригодной к механизированному рассеву, при взаимодействии компонентов не должно быть потерь питательных веществ, смесь не должна расслаиваться при транспортировке и внесении. Для смешивания используют тукосмесительные установки СЗУ-20 и УТС-30. Лучше смеси готовить перед их внесением.

Микроэлементы в составе комплексных удобрений. Комплексные удобрения с микроэлементами могут быть двойными или тройными (NP, NK, KP, NPK) с добавлением одного или нескольких микроэлементов. Они должны иметь высокую концентрацию и хорошую усвояемость всех компонентов, равномерное распределение микроэлементов, хорошие физические свойства. Комплексные удобрения выпускаются в гранулированном виде.

Борсодержащие комплексные удобрения – нитроаммофоска, карбоаммофоска, аммофос. Борсодержащие комплексные удобрения можно применять как при основном (3–4 ц/га) так и при локальном способе внесения (0,5 – 1 ц/га). Для большинства культур можно использовать удобрения марки

1:1:1:0,01. Для семенников сахарной свеклы, кормовых и столовых корнеплодов, многих овощных культур целесообразнее применять удобрения марки 1:0,5:1:0,01.

Молибденсодержащие комплексные удобрения представлены нитроаммофоской и фосфорно-калийной смесью (суперфосфат и хлористый калий), обогащенными молибдатом аммония. В опытах установлена равнозначность, а в ряде случаев и более эффективное действие молибдена, внесенного в составе комплексных удобрений, по сравнению с предпосевной обработкой семян молибденом.

Молибденсодержащие комплексные удобрения рекомендуются как для основного (2,5–3 ц/га), так и для рядкового (0,5–1 ц/га) внесения. Фосфорно-калийно-молибденовые удобрения на посевах многолетних трав, а также на сенокосах и пастбищах, имеющих в травостое бобовый компонент, могут быть

внесены в запас. Под овощные культуры лучше использовать молибденовую нитроаммофоску.

Медьсодержащие комплексные удобрения применяют, прежде всего, на осушенных торфяно-болотных почвах низинного типа, очень бедных медью, а также на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава.

Высокоэффективны гранулированные азотно-калийно-медные комплексные удобрения – полученные на основе мочевины, хлористого калия и сульфата меди (14–16% N, 35–40% K₂O, 0,6–0,7% Cu). Кроме того, существует аммофос с медью, который содержит 12 % азота, 49% фосфора и 0,7% меди.

Цинксодержащие комплексные удобрения требуются при возделывании зерновых, сахарной свеклы, плодово-ягодных, овощных культур, выращиваемых на дерново-карбонатных и произвесткованных дерново-подзолистых супесчаных почвах. Эффективны азотно-фосфорные (аммофос 12–13% N, 50–60% P₂O₅, 0,7–0,8% Zn) и азотно-фосфорно-калийные удобрения (по 18–20% N, P₂O₅ и K₂O и 0,3–0,4% Zn). Они могут использоваться как при основном, так и при рядковом внесении, вразброс и локально.

Удобрительные смеси для индивидуальных садов и огородов изготавливаются из гранулированных и не гранулированных удобрений, а также методом прессования с получением таблетированных форм.

Не гранулированные смеси с микроэлементами готовят из сульфата аммония, простого суперфосфата, хлористого калия или калийной соли, борной кислоты, сернокислого кобальта и йодистого калия. Соотношение основных питательных элементов 1:1,5:1,5.

Гранулированные смеси получают методом прессования простого суперфосфата, сульфата аммония и хлористого калия и солей микроэлементов с последующим дроблением и отсевом товарной фракции. Выпускаются тукосмеси: огородная (1:1,5:1,5), плодово-ягодная (1:1,6:1,25) и цветочная (1:1,5:1).

Для комнатного цветоводства выпускается специальная смесь «Флора» (смесь мочевины, аммофоса и хлористого калия с добавлением борной

кислоты). Соотношение азота, фосфора и калия – 1:1,5:1. Есть и другие смеси. Все они являются высокоэффективными удобрениями. Их можно применять при перекопке почвы осенью или весной в подкормку. Таблетированные удобрения обладают хорошими физическими свойствами (не слеживаются), но вносить их при подкормке различных растений рекомендуется в виде растворов.

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ). Получают нейтрализацией орто- и полифосфорных кислот аммиаком с добавлением азотсодержащих растворов (КАС), мочевины, аммиачной селитры и хлористого калия или сульфата калия, иногда – и микроэлементов.

Жидкие комплексные удобрения имеют ряд преимуществ:

- полная механизация всех процессов погрузки-разгрузки, внесения в почву. Исключается ручной труд, снижаются затраты;
- в ЖКУ нет свободного аммиака, поэтому удобрение можно вносить как поверхностно, так и внутрь почвы;
- в состав ЖКУ можно вводить микроэлементы, некоторые пестициды и стимуляторы роста;
- ЖКУ не ядовиты, пожаро- и взрывобезопасны;
- ЖКУ взаимодействуют с почвой полнее и быстрее, чем твердые удобрения.

На основе ортофосфорной кислоты выпускают базовый раствор ЖКУ марки 9:9:9, на основе полифосфорных кислот – 10:43:0, 8:24:0 и 11:37:0.

Для получения более концентрированных растворов необходима их стабилизация для защиты от выпадения солей в осадок (особенно при низких температурах). Для этих целей используют коллоидную глину, кремниевую кислоту.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие удобрения называют сложными и смешанными?
2. В чем преимущество и недостатки комплексных удобрений по сравнению с простыми?
3. Как классифицируют комплексные удобрения?

4. Перечислите наиболее распространенные двух и трехкомпонентные комплексные удобрения. Приведите их характеристику и особенности применения.
5. Что представляют собой жидкие комплексные удобрения? Приведите их характеристику и особенности использования.
6. В чем особенности использования жидких комплексных удобрений, безводного аммиака, КАС?
7. Назовите комплексные удобрения, в состав которых входят микроэлементы. Как их можно использовать?
8. Смешанные удобрения. Перечислите правила приготовления смесей и требования к ним.

2.2 ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

Задача воспроизводства плодородия почв, создания бездефицитного или положительного баланса питательных элементов и гумуса в почве может быть успешно решена только при систематическом, научно-обоснованном применении органических и минеральных удобрений в севообороте. Использование органических удобрений – это частичный возврат в почву питательных элементов, которые были когда-то использованы.

Органические удобрения оказывают многостороннее действие на почву и растения: они снабжают их макро- и микроэлементами, органическим веществом, углекислым газом, повышают микробиологическую активность почвы, ее буферную способность, емкость поглощения, степень насыщенности основаниями, водоудерживающую способность, способствуют снижению кислотности почвы, улучшают ее структуру. Ассортимент органических удобрений представлен на рисунке 21.

Это местные удобрения. Они накапливаются в хозяйстве (навоз, навозная жижа, птичий помет и др.), готовятся (компосты), выращиваются (зеленое удобрение), добываются на месте (торф, сапропель).

Качество органических удобрений приведено в таблице 18.

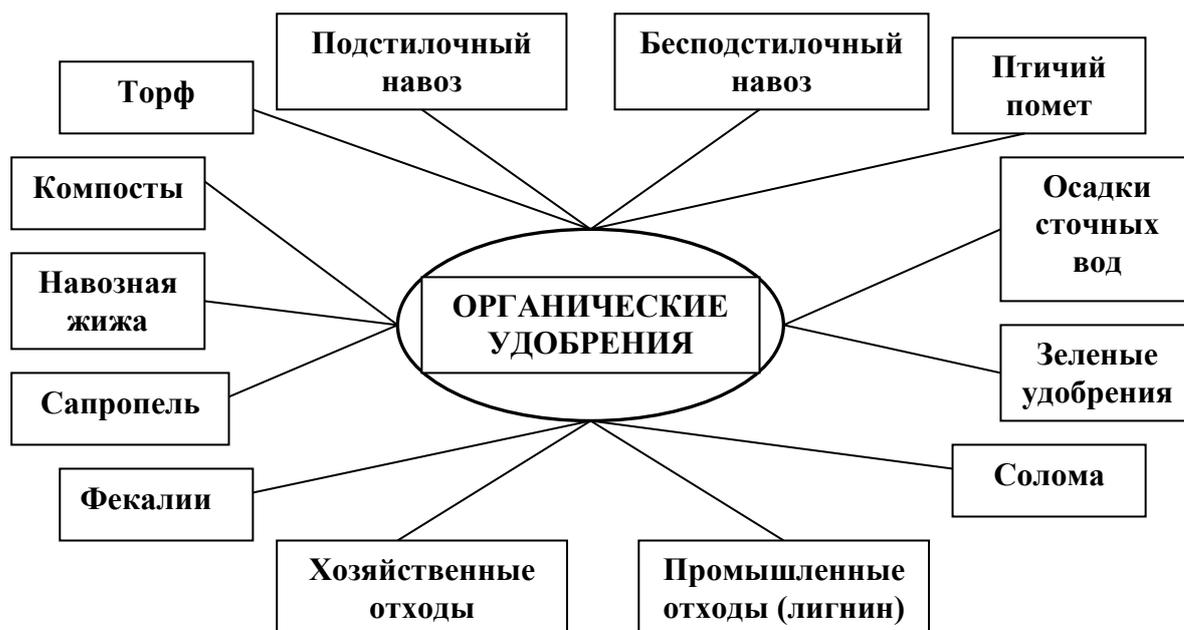


Рисунок 21– Ассортимент органических удобрений

Таблица 18 – Качество органических удобрений

Удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Доля NH ₄ ⁺ , %
Полуперепревший навоз (влажность 75%)	0,5	0,25	0,6	30–40
Торф верховой (влажность 60%)	0,35	0,03	0,03	≤ 0,0035 (на сухую массу)
Торф низинный (влажность 60%)	1,05	0,14	0,7	≤ 0,009 (на сухую массу)
Бесподстилочный навоз КРС (влажность 88–92%)	0,4–0,28	0,20–0,14	0,45–0,32	50–70
Бесподстилочный навоз свиней (влажность 90 – 92%)	0,47–0,38	0,24–0,19	0,23–0,18	50–70
Фекалии	0,5–0,8	0,2–0,4	0,2–0,3	70–80
Навозная жижа	0,25–0,30	0,03–0,06	0,4–0,5	
Птичий помет	0,6–2,2	0,5–1,8	0,9–1,1	30–50
Птичий помет сухой	4–6	2–3	2–2,5	
Сапропель (сухая масса)	1,3–2,9	0,18–0,43	0,12–0,22	
Солома	0,5	0,25	0,8	
Городской мусор (сухая масса)	0,6–0,7	0,5–0,6	0,6–0,8	
Зеленая масса люпина	0,45	0,1	0,17	
Зеленая масса донника	0,77	0,05	0,19	

2.2.1 ПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ И НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навоз является основным органическим удобрением. Академик Д.Н. Прянишников писал: *«Как бы ни было велико производство минеральных удобрений в стране, навоз никогда не потеряет своего значения как одно из главных удобрений в сельском хозяйстве».*

Подстилочный навоз – это смесь твердых и жидких выделений животных и подстилки. Из корма в навоз переходит 40–50% органического вещества, 50% азота, 80% фосфора и до 90% калия. Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по химическому составу: 50–65% азота и практически весь калий находится в жидких выделениях, остальной азот и практически весь фосфор – в твердых. Питательные вещества в жидких выделениях находятся в легко минерализуемой форме, кроме того, калий – в бесхлорной форме. Полная минерализация твердых выделений животных и подстилки протекает в течение 2–3 лет.

Выход, состав и удобрительная ценность навоза зависит от вида и возраста животных, типа кормления, количества и вида подстилки, способа хранения навоза.

В качестве подстилки используют солому озимых и бобовых культур, торф, опилки и другие материалы. Качество навоза с опилками хуже, чем с соломой и торфом. В нем меньше азота и много медленно разлагающейся клетчатки. Торфяная подстилка не только улучшает зоогигиенические условия содержания скота, но и увеличивает выход навоз, существенно снижает потери азота. Использование 1 т сухой торфяной подстилки может дать дополнительно 5–7 т хорошего навоза с высоким содержанием азота.

Выход навоза зависит от вида животных, количества подстилки и продолжительности стойлового периода. Его можно определить несколькими способами.

Зная выход навоза в сутки (B , кг), продолжительность стойлового периода (D , сут.) и поголовье скота (n), выход навоза (H , т/га) определяют по формуле:

$$H = B \times D \times n : 1000$$

Для определения выхода полуперепревшего навоза полученную величину умножают на коэффициент 0,7–0,8. В таблице 19 приведены примерные величины выхода навоза от разных видов животных за стойловый период.

Таблица 19 – Примерный выход соломистого навоза (т) от 1 головы скота при разной продолжительности стойлового периода

Вид животного	Продолжительность стойлового периода, дней			
	240 – 220	220 – 200	200 – 180	Менее 180
Крупный рогатый скот	9 – 10	8 – 9	6 – 8	4 – 5
Свины	1,5 – 2,0	1,2 – 1,7	1,0 – 1,5	0,8 – 1,2
Лошади	7 – 8	5 – 6	4 – 5	3 – 4
Овцы, козы	0,8 – 1,0	0,7 – 0,9	0,6 – 0,7	0,4 – 0,5

Выход навоза можно рассчитать по формуле Вольфа:

$$H = \left(\frac{K}{2} + П \right) \times 4,$$

где $\frac{K}{2}$ - половина сухого вещества кормов, переходящая в навоз; $П$ – сухая масса подстилки; 4 – коэффициент перевода сухой массы навоза в состояние 75%-ной влажности (в свежем навозе содержится около 25% сухого вещества и 75% воды, поэтому выход навоза в 4 раза больше, чем сухого вещества).

Имеющиеся запасы навоза в хозяйстве можно определить после определения объема штабеля (V) по формуле:

$$H = V \times d,$$

где d – плотность навоза.

Масса 1 м³ неуплотненного свежего навоза равна 0,3–0,4 т, уплотненного – 0,7 т, полуперепревшего навоза – 0,8 т и перепревшего – 0,9 т.

По степени разложения различают: *свежий, полуперепревший, перепревший навоз и перегной (сыпец)*.

Свежие выделения животных не используют в качестве удобрения из-за опасности засорения полей семенами сорных растений, заражения человека болезнетворными бактериями и загрязнения окружающей среды. Такой навоз

подвергают хранению, при котором можно получить полуперепревший, перепревший навоз или перегной.

В полуперепревшем навозе солома имеет темно-коричневый цвет, легко разрывается, потеря первоначальной массы навоза составляет примерно 25%. В перепревшем навозе солома не обнаруживается, а потери органической массы составляют 50%. Перегной (сыпец) представляет собой темную рыхлую массу, без запаха, потери органической массы достигают 75% заложенной на хранение. Хранить навоз до перепревшего состояния или перегноя нецелесообразно, так как это ведет к большим потерям азота и органического вещества.

В свежем навозе азот содержится в белковой и аммонийной (аммиачной) форме, нитратного азота в нем нет, но он образуется со временем в процессе хранения. Качественный полуперепревший навоз содержит 0,5% азота, 0,25% – фосфора и 0,6% калия, до 30–40% общего азота представлено аммонием.

Важным показателем качества органических удобрений является соотношение в них углерода к азоту (C:N). Чем оно меньше, тем выше удобрительное свойство. В навозе отношение углерода к азоту составляет (19–20):1. Кроме основных питательных элементов навоз содержит микроэлементы.

Технология хранения навоза. Существуют различные способы хранения навоза: плотный (холодный), рыхло-плотный, рыхлый (горячий) и хранение под скотом.

Плотное (анаэробное) хранение. Навоз укладывают в навозохранилище или в штабеля (вблизи ферм или на поле) послойно с немедленным уплотнением каждого слоя. Общая масса навоза в штабеле колеблется от 45 до 100 т. Первый слой навоза должен иметь ширину 3–4 м, толщину – 1 м, длину – произвольную. На первый слой укладывают новые слои до достижения высоты штабеля 1,5–2 м. Сверху штабель покрывают слоем (8–10 см) торфа или резаной соломы.

Разложение навоза идет в анаэробных условиях при температуре зимой 15–25 °С, летом – 30–35 °С. Свободные от воды поры заняты углекислотой,

поэтому биологические процессы замедлены. Через 3–4 мес. после закладки штабеля образуется полуперепревший навоз, через 7–8 мес. – перепревший. Потери азота и органического вещества при таком способе хранения – минимальны.

Рыхло-плотное (аэробно-анаэробное) хранение. Навоз укладывают слоями сначала рыхло, а через 3–5 дней, когда температура в слое достигнет 60–70 °С, уплотняют. Вначале при температуре 60–70 °С происходит обезвреживание навоза, гибнут возбудители желудочно-кишечных заболеваний, идет интенсивное разложение органической массы. После уплотнения температура понижается до 30–35 °С, и разложение навоза протекает в анаэробных условиях.

При рыхло-плотном хранении потери азота и органических веществ выше, чем при плотном, но навоз разлагается гораздо быстрее: полуперепревшим он становится уже через 1,5–2 мес., а через 4–5 мес. – перепревшим.

Этот способ хранения применяют, когда необходимо навоз обезвредить или за короткий срок получить навоз нужной степени разложения.

Рыхлое (аэробное) хранение. Навоз хранится в штабелях без уплотнения. Происходит его сильное самосогревание (60–70 °С), что ведет к большим потерям органического вещества и азота (до 75%). Таким способом допускается хранение навоза на торфяной подстилке, а также по показаниям санитарно-эпидемиологической службы.

Хранение под скотом. Применяют при беспривязном содержании животных в полевых загонах, на выгульных площадках и в животноводческих помещениях. В начале стойлового (выгульного) периода в помещении (загоне, на площадке) рассыпают подстилку (желательно торф) слоем 20–30 см из расчета 300 кг на одну корову. Подстилка через каждые 8–10 дней добавляется небольшими порциями. При таком ее использовании вся жижка остается в навозе, и почти нет потерь аммиачного азота. По характеру разложения навоза

этот способ близок к плотному способу хранения. Уборку навоза проводят один–два раза за год.

Достоинством хранения навоза под скотом является отсутствие необходимости строительства навозохранилищ, жижесборников, частой уборки, что снижает себестоимость навоза.

К способам уменьшения потерь органического вещества и азота при хранении навоза следует отнести:

- использование повышенных норм подстилки;
- плотный способ хранения навоза;
- добавление к навозу фосфоритной муки (1–4% от массы навоза). Этот прием по данным ВИУА в 3,6 раза снижает потери азота за 4 мес. хранения;
- устройство у скотных дворов и навозохранилищ жижесборников (количество образующейся *навозной жижи* составляет 10–15% от массы свежего навоза).

Навозная жижа представляет собой перебродившую мочу животных и является быстродействующим, преимущественно азотно-калийным удобрением.

В среднем она содержит 0,25–0,3% азота, 0,01–0,06% фосфора и 0,4–0,5% калия. Азот и калий в ней находятся в растворимой форме, легкодоступной для питания растений. По эффективности навозная жижа не уступает эквивалентным дозам (по д. в.) минеральных удобрений.

Внесение подстилочного навоза и навозной жижи. Подстилочный навоз вносят под вспашку, прежде всего под пропашные культуры (40–60 т/га), зерновые с подсевом многолетних трав и при планировании высоких урожаев.

Органические удобрения эффективно использовать под культуры, чувствительные к высокой концентрации солей в почвенном растворе и отзывчивые на углекислоту. Такими культурами являются огурец, кабачок, тыква, дыня, капуста белокочанная (средняя и поздняя), капуста цветная.

Из кормовых культур отзывчивость на органические удобрения, по сравнению с минеральными, выше у кукурузы, однолетних и многолетних трав,

кормовых корнеплодов (свеклы, турнепса, брюквы, моркови). В полевых севооборотах навоз используют также под картофель и озимые зерновые.

Навоз вносят навозоразбрасывателями и в тот же день запахивают на глубину от 15 до 25 см. Незапаханный в течение суток навоз теряет до 50% аммиачного азота. Во влажной почве и при мелкой заделке разложение навоза ускоряется, при глубокой заделке – замедляется. При недостатке влаги мелкая заделка замедляет разложение навоза и еще больше иссушает почву.

Наибольший эффект от навоза в первый год после внесения отмечается на дерново-подзолистых почвах легкого и среднего гранулометрического состава при достаточном количестве осадков. Продолжительность его действия на песчаных и супесчаных почвах составляет 2–3 года, на суглинистых – в течение всей ротации севооборота. По действию на урожайность сельскохозяйственных культур навоз не уступает эквивалентному количеству минеральных удобрений, а на легких, бедных органическим веществом почвах – даже превосходит их.

Наиболее эффективным является сочетание навоза с минеральными удобрениями.

Навозную жижу можно использовать круглый год. Ее можно вносить в чистом виде (или в составе компостов) до посева и в подкормку с обязательной быстрой заделкой в почву. Дозы основного внесения навозной жижи колеблются от 20 до 50 т/га, в подкормку озимых зерновых, многолетних трав в севооборотах, на лугах и пастбищах рекомендуется брать 3–5 т/га навозной жижи и разбавлять ее водой в 2–3 раза. Если жижа содержит не более 0,25% азота – разбавление ее перед поверхностной подкормкой не проводят. При подкормке овощных и других пропашных культур во время междурядной обработки используют – 7–12 т/га неразбавленной навозной жижи. Ее следует сочетать с применением фосфорных удобрений. Это значительно повышает ее эффективность ввиду очень низкого содержания фосфора. Навозную жижу используют также для приготовления компостов.

2.2.2 БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

В структуре органических удобрений значительный удельный вес занимает бесподстилочный навоз, в котором соотношение углерода к азоту примерно 1:7, что неблагоприятно для накопления гумуса в почве, поэтому его внесение должно сочетаться с использованием материалов с высоким содержанием углерода – соломой, опилками, торфом, кострой, лигнином и др.

Бесподстилочный навоз получается в крупных животноводческих комплексах промышленного типа, где животные содержатся без подстилки. Это разбавленная водой смесь кала и мочи животных. В зависимости от количества воды различают полужидкий, жидкий навоз и навозные стоки. *Полужидкий* навоз имеет влажность 90–93%, *жидкий* – 94–96%, *навозные стоки* – более 97%. С увеличением разбавления бесподстилочного навоза водой снижается содержание в нем питательных веществ.

Выход полужидкого и жидкого навоза, получаемого в животноводческих комплексах (Н), определяют по формуле:

$$H = [(K + M) \times D_c \times C_c] : 1000 (м^3),$$

где K и M – масса мочи и кала от одной головы скота в сутки, $дм^3$; D_c – продолжительность стойлового периода, дни; C_c – численность поголовья скота; 1000 – коэффициент перевода в $м^3$ (1 $м^3$ жидкого навоза весит в среднем 0,95 т, полужидкого – 0,9 т.)

От одной головы крупного рогатого скота при бесподстилочном содержании получается 40–55 $дм^3$ навоза, от одной свиньи – 10–12 $дм^3$.

Для определения общего выхода органических удобрений бесподстилочный навоз переводят в условный навоз с влажностью 75%. Для этого можно воспользоваться следующими коэффициентами пересчета: все виды подстилочного навоза и компосты – 1; полужидкий бесподстилочный – 0,5, жидкий – 0,2, навозные стоки – 0,06.

В отличие от подстилочного навоза, содержащего примерно 20% азота в аммиачной форме, в бесподстилочном его содержится от 50 до 70%. Отношение углерода к азоту в нем значительно уже, чем в подстилочном и составляет (8–6) : 1. Поэтому он быстрее минерализуется и в первый год более эффективен, чем подстилочный, а в последующие годы – уступает ему. В среднем жидкий навоз всех видов животных содержит 0,3% азота, 0,13 – фосфора и 0,3% – калия. Реакция среды бесподстилочного навоза может колебаться от рН 6,5 до 8,5.

На удобрительную ценность навоза влияет много факторов, среди которых наиболее значимыми являются способ удаления навоза, связанный с количеством используемой воды, а также разделение его на фракции при хранении, способы обеззараживания.

Бесподстилочное содержание скота предусматривает использование решетчатых полов и бетонированных навозных каналов. Существует несколько способов удаления навоза:

- механическое удаление с помощью транспортеров;
- удаление по самотечно-сплавным каналам под действием силы тяжести при использовании небольшого количества воды (2% от массы навоза) с возможностью ее рециркуляции;
- удаление посредством гидросмыва с использованием 30–35 дм³/сут. воды на одну голову скота. Навоз при этом разбавляется в 4–6 раз, возрастает потребность в емкостях для хранения.

Прифермские навозохранилища строят на расстоянии не менее 300 м от животноводческого комплекса и могут быть заглубленные и надземные, открытые или закрытые. Закрытые емкости должны иметь вентиляцию, так как при хранении навоза в них накапливается метан, сероводород, углекислый газ, аммиак, индол и другие газы, вредные для организма человека и животных.

Полевые навозохранилища котлованного типа размещают на удобряемых полях. Вместимость каждого из них определяется размерами удобряемого поля и дозами вносимого навоза.

Суммарный объем навозохранилищ должен обеспечивать хранение такого количества навоза, которое накапливается за 2–6 мес. – время, когда отсутствует возможность его вывоза и внесения в почву. На прифермские навозохранилища должно приходиться 25–40% необходимой емкости, полевые – 60–75%.

При хранении в навозохранилищах бесподстилочный навоз расслаивается и образует три слоя, различающиеся между собой по плотности, содержанию питательных элементов и сухого вещества. В верхней части образуется плотный плавающий слой с влажностью 78–84%, не содержащий аммиачного азота; внизу осаждаются твердые частицы навоза, песок, ил с влажностью 84–88%, которые тоже содержат мало аммиачного азота; между этими слоями образуется жидкий слой (влажность 88–94%), богатый аммиачным азотом.

По данным ВНИИА в отстаившейся жидкой фракции содержится 71% общего азота и 78% аммиачного, 37% фосфора и 82% калия.

Потери органического вещества и азота при хранении бесподстилочного навоза в хранилищах значительно меньше, чем при хранении подстилочного навоза. Так, потери азота при хранении жидкого навоза в любое время года составляют только 2–8%. По данным ВИУА, добавление к его массе 2% суперфосфата и 1% калийной соли сокращает эти потери более чем в 2 раза.

В бесподстилочном навозе не протекают процессы самосогревания, и температура не повышается, поэтому он является благоприятной средой для длительного сохранения жизнеспособности патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Такой навоз обеззараживают хлорной известью, ксилолом, формальдегидом (последний добавляют из расчета 190 г/т жидкого навоза), которые помимо обеззараживания устраняют зловонный запах.

Эффективным способом обеззараживания бесподстилочного навоза является термическая обработка, основанная на термическом свертывании белков (выше 56 °С). Прогревание в течение суток при такой температуре практически не приводит к потерям азота.

Для обеззараживания, дегельминтизации и дезодорации бесподстилочного навоза эффективно использование анаэробной обработки навоза. В присутствии метановых бактерий при температуре 56–58 °С в течение трех суток гибнут яйца гельминтов, мух, возбудители болезней. По удобрительной ценности обработанный таким образом навоз равноценен исходному навозу, а полученный при этом метан может использоваться в быту и на производстве как отопительное средство.

Бесподстилочный навоз вносят в качестве основного удобрения и подкормок. При использовании жидкого навоза необходимо соблюдать следующее:

- регулярно освобождать навозохранилища, чтобы не происходило их переполнение, загрязнение окружающей среды, распространение гельминтов и инфекций;

- сразу после внесения необходима заделка навоза в почву;

- на песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почвах целесообразно его вносить с соломой или торфом;

- использовать жидкий навоз для приготовления компостов;

- избегать внесения навоза осенью на затопляемых полях и на склонах;

- на лугопастбищных угодьях нельзя вносить жидкий навоз из цистерн.

Летом его вносят из дождевальных установок сразу после стравливания или скашивания, минимум за три недели до очередного использования. После внесения отаву рекомендуется полить водой, что значительно улучшает качество корма.

Самый надежный с экологической точки зрения способ внесения жидкого навоза – внутripочвенный. Он позволяет в 7–10 раз снизить потери питательных веществ и не менее чем на 10–15% повысить урожайность основных кормовых культур (свеклы, кукурузы, трав и др.).

Дозы внесения жидкого навоза определяют по азоту (табл. 20).

Для дерново-подзолистых суглинистых почв предельная доза азота – 250 кг/га, супесчаных на морене – 230, супесчаных на песках – 200, торфяно-болотных – 150 кг/га.

При использовании бесподстилочного навоза, особенно при нарушении технологий внесения, существует опасность загрязнения поверхностных и грунтовых вод, почвы и воздуха. При внесении его в высоких дозах на одних и тех же участках может ухудшиться санитарное состояние почвы, существует опасность ее засоления, а также продукция может загрязняться нитратами.

Таблица 20 – Дозы внесения жидкого навоза

Культура	Доза азота, кг/га	Жидкий навоз, т/га	
		крупного рогатого скота	свиней
Озимые	100	40	25
Корнеплоды	300	120	75
Кукуруза	250	100	65
Картофель	200	80	50
Многолетние злаковые травы на сено (перезалужение)	200	80	50
Однолетние травы	120	45	30
Улучшенные сенокосы и пастбища	200	80	50

При использовании гидросмыва для удаления экскрементов животных образуются **навозные стоки**. Они содержат более 97% воды и бедны питательными элементами, особенно фосфором и калием. Навозные стоки используют для удобрительных поливов. Концентрация азота в них не должна превышать 1 г/л.

На полях с уровнем залегания грунтовых вод менее 1 м (глинистые и суглинистые почвы) и 1,5 м (песчаные и супесчаные почвы), а также на полях, имеющих уклон более 3° навозные стоки использовать нельзя.

2.3.3 ПТИЧИЙ ПОМЕТ

Основным способом утилизации птичьего помета, скапливающегося на птицефабриках, является использование его в качестве удобрения.

Птичий помет – быстродействующее органическое удобрение с высоким содержанием основных питательных макро- и микроэлементов. В зависимости от особенностей технологии выращивания птицы помет может быть подстилочным и бесподстилочным.

В птичьем помете 50% азота, 4% фосфора и 60% калия находятся в водорастворимой форме. Азот присутствует в основном в виде мочевой кислоты и 5–10% – в виде аммиака. Мочевая кислота при хранении влажного помета разлагается с выделением аммиака.

Химический состав и выход птичьего помета приведен в таблице 21. Кроме макроэлементов в помете содержатся и микроэлементы. В 100 г сухого помета содержится (мг): 15–38 Mn, 12–39 Zn, 1,0–1,3 Co, 0,5 Cu, 367–900 Fe.

Таблица 21 –Химический состав (% на сырое вещество) и выход (кг) птичьего помета (по разным источникам)

Птица	Выход в год, кг	Сухое вещество	Общий азот	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Куры	6	44	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7
Утки	8	30	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2
Гуси	10	24	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2
Индюки	8	25	0,7	0,6	0,5	0,5	0,2

Так как птичий помет в основном азотно-фосфорное удобрение, то его применение вызывает необходимость дополнительного внесения, прежде всего, калийных удобрений.

Хранение бесподстилочного помета лучше проводить холодным (плотным) способом с добавлением до 40% сухого торфа, 1,5–2% хлористого калия и 7–10% суперфосфата или фосфогипса.

Лучший способ сохранения питательных элементов в таком помете – сушка его при температуре 600–800 °С до влажности 17% с последующей грануляцией. Такой помет содержит 4,5–5% азота (в том числе 0,6% – аммиачного), 3,6–4 – фосфора, 1,7–2 – калия, 5–6 – кальция, 1,6% магния.

Птичий помет используют в качестве непосредственного органического удобрения и для приготовления компостов.

Сухой помет вносят до посева под пропашные и овощные культуры в дозах 4–5 т/га, под озимые зерновые – 2,5 т/га. Это хорошее удобрение для тепличного овощеводства. Его используют и для подкормок, в том числе некорневых. Дозы сырого помета для подкормок различных культур – 0,8–1,0 т/га, для некорневой подкормки 1 часть сухого помета настаивают в 6–7 частях воды.

Средние коэффициенты усвоения основных элементов питания из птичьего помета (по данным ВНИПТИОУ – Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт органических удобрений) в первый год действия в зависимости от дозы, гранулометрического состава почвы, биологических особенностей культур составляют: азота – 40–65%, фосфора – 10–25, калия – 60–85%. В прямом действии по эффективности он приближается к минеральным удобрениям, а в последствии – к навозу.

2.2.4 СОЛОМА КАК УДОБРЕНИЕ

Солома – важнейший источник органического вещества. Ее широко используют в отечественной и зарубежной земледельческой практике, в хозяйствах, специализирующихся на производстве зерна и обеспечивающих прочную кормовую базу для животноводства. По содержанию органического вещества одна тонна соломы равноценна 3,5–4 тоннам навоза, по содержанию азота – 15 кг аммиачной селитры. При средней урожайности зерновых 2–3 т/га зерна и сжигании соломы этого урожая с каждого гектара безвозвратно теряется в среднем 10–15 кг азота, что равнозначно 29–43 кг аммиачной селитры, 2,5–3,7 т органического вещества.

В Смоленской области около 20% посевных площадей занято зерновыми и зернобобовыми культурами. Среднегодовое производство побочной продукции этих культур составляет около 252 тыс. тонн. Если предположить, что излишки соломы (после расходования на корм и подстилку скоту, хозяйственные нужды, продажу населению и другие цели) составят 50%, то

внесение их обеспечит возврат в почву примерно 625 т азота, 185 т фосфора, 1260 т калия.

Интенсивность разложения соломы микроорганизмами в почве и ее удобрительная ценность определяется ее химическим составом. В среднем солома содержит 15% воды и 85 % сухих веществ (табл. 22). Основная часть соломы овса, ячменя, озимой пшеницы представлена целлюлозой (33–35%), пентозанами и гемицеллюлозой (21%) и лигнином (19–21%). В состав соломы этих культур входит также сырой протеин (3–5%), декстрины (0,7–2%), зола (4,5–5,5%), а также воск.

Таблица 22 – Химический состав соломы зерновых и зернобобовых культур (Шкарда, 1985)

Солома	Сухое вещество, %	Органическое вещество, %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Отношение C:N
Пшеничная	86	82	0,45	0,07	0,64	0,21	0,07	80-90
Ржаная	86	82	0,34	0,07	0,52	0,33	0,05	100-110
Овсяная	86	80	0,42	0,13	1,12	0,24	0,07	80-90
Ячменная	86	82	0,50	0,18	0,94	0,28	0,05	70-80
Кукурузная	86	82	0,46	0,16	1,26	0,32	0,14	60-80
Рапсовая	85	80	0,53	0,11	0,85	0,81	0,16	60-70
Гречишная	86	80	1,36	0,51	2,95	0,86	0,16	24-27
Зернобобовых культур	86	80	1,44	0,23	1,96	0,91	0,16	20-25

Органическое вещество является энергетическим материалом для почвенных микроорганизмов, основным строительным материалом для образования гумуса в почве. Оно может быть использовано растениями только после минерализации. В первую очередь разрушаются простые углеводы, пентозаны, белки, затем целлюлоза и гемицеллюлоза.

Скорость разложения соломы в почве определяется многими факторами: наличием источников питания для микроорганизмов, их численностью, видовым составом и активностью, типом почвы, ее окультуренностью, температурой, влажностью, аэрацией и др.

Солома хорошо разлагается во влажных, хорошо окультуренных почвах. Особенно быстро этот процесс идет в начальный период. На нейтральных почвах, хорошо обеспеченных питательными веществами, солома разлагается в течение 3–4, на кислых тяжелых почвах – 4–5 лет.

В состав соломы входят все необходимые растениям питательные вещества. В среднем в соломе зерновых культур при влажности 15% содержится 0,34–0,5% азота, 0,07–0,18 – фосфора, 0,6–1,3 – калия, 35–45% углерода, а также сера и микроэлементы (бор, медь, марганец, молибден, цинк, кобальт). Солома улучшает физико-химические свойства почвы, повышает ее микробиологическую активность.

Важным показателем удобрительной ценности соломы является отношение углерода к азоту. В соломе всех культур, кроме соломы зернобобовых, оно широкое (табл. 22). Величина этого показателя определяет характер разложения соломы в почве. Для нормального протекания процессов разложения соломы отношение углерода к азоту должно быть (20–30):1. Более узкое соотношение приводит к минерализации органических азотистых соединений, а более широкое – усиливает процессы иммобилизации азота.

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы испытывают сравнительно высокую потребность в азоте. Так как содержание азота в соломе низкое, они поглощают его и из почвы, и растения могут испытывать недостаток азота. Поэтому в год внесения соломы положительный эффект может отсутствовать или быть отрицательным.

Эффективность соломы в год внесения возрастает при дополнительном внесении азота (от 3,5 до 15 кг на 1 т соломы) и достижении соотношения C:N = 20. Вместо минерального азота можно использовать жидкий навоз (не менее 3–5 т на 1 т соломы) или бобовые сидеральные культуры.

Солому в севообороте можно вносить под любые культуры. Скорость разложения разных видов соломы зависит от содержания в ней азота: чем больше азота, тем быстрее она разлагается. Быстрее всего разлагается гречишная и гороховая солома.

При разложении соломы образуются токсичные для растений фенольные соединения, которые также могут быть причиной снижения урожайности сельскохозяйственных культур, особенно злаков (Верниченко, Мишустин, 1980). Поэтому чаще всего измельченную и разбросанную по полю солому запахивают осенью, предварительно добавив компенсирующее азотное удобрение (8–10 кг азота на 1 т соломы) вместе с фосфорными и калийными удобрениями, рассчитанными на запланированный урожай следующей культуры. Компенсирующую дозу азота не принимают во внимание при расчете доз азота для получения запланированного урожая.

Заделка соломы складывается из лущения стерни и зяблевой вспашки. Солому, как и другие органические удобрения, следует заделывать плугом без предплужников.

Дозу дополнительного азота при удобрении соломой можно определить, зная содержание в ней азота и органического вещества.

ПРИМЕР: Солома содержит 0,5% азота и 80% органического вещества. Отношение углерода к азоту – 80. Для уменьшения величины этого отношения необходимо повысить содержание азота как минимум до 2%. В этом случае отношение углерода к азоту станет равным 20. Это значит, что на каждую тонну соломы надо добавить: $(2 - 0,5) \times 10 = 15$ кг азота. При дозе соломы 5 т/га потребуется 77,5 кг ($15 \times 5 = 75$). При использовании аммиачной селитры ее потребуется: $75 : 34,5 \approx 2,1$ ц/га.

Солому можно использовать в сочетании с жидким и полужидким навозом (6–8 т на 1 т соломы). В Белоруссии на дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах внесение в почву 3 т/га соломы и 27 т/га жидкого навоза было по эффективности равноценно внесению 30 т/га подстилочного навоза (Рекомендации..., 2000 г.).

Солому озимых зерновых не следует использовать для других озимых зерновых, так как она служит источником болезней, в первую очередь – корневых гнилей. Лучше ее вносить под пропашные или бобовые культуры, а солому бобовых – использовать под зерновые культуры. Хороший результат дает использование под яровую пшеницу соломы гречихи (Анохина, 2003).

Кроме непосредственного внесения в почву, солому используют при получении подстилочного навоза, при производстве компостов, а также в качестве мульчи для борьбы с водной и ветровой эрозии.

2.2.5 ТОРФ, ТОРФЯНЫЕ КОМПОСТЫ

Российская Федерация располагает крупнейшими в мире запасами торфа, ресурсы которого оцениваются в 186 млрд. тонн (в пересчете на 40%-ную влажность), что составляет 32% мировых запасов. Они размещены на 65,7 тыс. торфяных месторождениях общей площадью 80,5 млн. га. Наибольшие запасы торфа расположены в Западно-Сибирском и Северо-Западном экономическом районе. Большие запасы его имеются в Уральском, Центральном, Дальневосточном, Восточно-Сибирском районах. Запасы торфа в Смоленской области составляют 250 млн. т.

Торф – это полуразложившиеся в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха остатки болотной растительности. Его делят на неравноценные по химическому составу и свойствам верховой, переходный и низинный торф.

Степень разложения торфа определяют по содержанию гумифицированных веществ: слаборазложившийся – 5–25%, среднеразложившийся – 25–40 %, сильноразложившийся – более 40 %. Торф с низкой степенью разложения не продавливается между пальцами, вода из него легко выжимается и имеет слегка желтоватый оттенок. При высокой степени разложения торф продавливается между пальцами, а вода выдавливается редкими каплями и имеет коричневый цвет.

Торф богат азотом, но беден фосфором и очень беден калием (табл. 23). В нем очень мало меди.

Таблица 23 – Химический состав различных типов нормальнозольного торфа, % в сухом веществе

Тип торфа	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{KCl}
Верховой	0,8–1,2	0,06–0,12	<0,1	2,8–3,5

Переходный	1,0–2,3	0,1–0,2	0,1	3,5–4,7
Низинный	2,3–3,3	0,12–0,5	>0,15	4,7–5,5

Торф имеет очень низкую биологическую активность, поэтому органические соединения, содержащие азот, минерализуются медленно. По этой причине использовать торф в чистом виде в виде удобрения неэффективно. Кроме того, недостаточно влажный торф иссушает почву. В качестве удобрения можно использовать торф, содержащий вивианит (28,3% P_2O_5).

Наиболее эффективный способ использования торфа, позволяющий повысить доступность его азота растениям – компостирование с биологически активными компонентами – навозом, навозной жижей, птичьим пометом и другими материалами с получением соответствующих компостов (рис. 22).



Рисунок 22 – Основные виды компостов

Компосты – это удобрения, получаемые в результате разложения смеси различных органических веществ, в основном, растительного происхождения. Цель компостирования – повысить содержание в удобрении питательных элементов в усвояемой для растений форме; обезвредить от патогенной микрофлоры и гельминтов; уменьшить содержание целлюлоз, гемицеллюлоз и пектиновых веществ; придать компосту необходимые физические свойства

(сыпучесть и др.), облегчающие внесение его в почву. Это достигается созданием оптимальных условий влажности, температуры, реакции среды, обеспеченности воздухом для жизнедеятельности микроорганизмов. В связи с этим при приготовлении компостов массу не уплотняют.

Для приготовления компостов пригодны все типы торфа. Правильно заложенный на хранение приготовленный компост должен представлять собой однородную темную рассыпчатую массу влажностью не более 75% с реакцией среды, близкой к нейтральной.

Торфокомпосты являются местными удобрениями. Их готовят непосредственно в хозяйствах, прямо на поле.

За счет компостирования:

- повышается доступность растениям азота торфа;
- снижается кислотность торфа;
- благодаря высокой влагоемкости (до 180%) и поглотительной способности (до 200 мг-экв/100 г сухого вещества) торфа, резко сокращаются потери жидких продуктов разложения и используемых компонентов, а также аммиачного азота;
- улучшаются физические свойства готового продукта, что позволяет в 2–3 раза повысить качество распределения его по поверхности поля и на 30–35% увеличить долговечность и надежность машин для внесения удобрений;
- теряют жизнеспособность семена сорных растений, яйца и личинки гельминтов, снижается до безопасных пределов концентрация патогенной микрофлоры;
- исчезает резкий, неприятный запах компонентов, используемых при компостировании.

Технология приготовления и использование торфоизвестковых компостов (ТИК). Для их приготовления пригоден любой торф, кроме карбонатного ($pH > 5,0$). Под влиянием извести торф теряет кислотность, что способствует активизации микробиологических процессов, накоплению

нитратного и аммонийного азота, кальция, магния, то есть, повышению удобрительной ценности торфа.

Для приготовления ТИК в зависимости от кислотности торфа берут 2,5–5% извести от массы торфа (при влажности 55–60%) и пересыпают ею каждый 15–20 см слой. Лучше использовать доломитовую муку, так как она, кроме кальция, содержит и магний.

Торфоизвестковые компосты созревают в течение 4–5 мес. При внесении под сельскохозяйственные культуры необходимо дополнительно использовать фосфорные и калийные удобрения, а в первый год после внесения целесообразно дополнительно внести еще и азотные, особенно под скороспелые сорта.

Технология приготовления и использование торфофосфоритных компостов (ТФК). Целью приготовления таких компостов является обогащение торфа фосфором и кальцием фосфоритной муки и снижение его кислотности. Фосфоритная мука под действием кислотности торфа растворяется, переходя в более доступные растениям соединения – CaHPO_4 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. При благоприятных биотермических условиях уже через 4–5 недель до 60% фосфоритной муки переходит в водорастворимую, легкодоступную для растений форму.

Приготовление ТФК возможно двумя способами:

– при закладке штабелей в поле смешивают фосфоритную муку (10–30 кг на 1 т кислого торфа влажностью 65–70%) с торфом, распределяя ее между его слоями;

– добавляют фосфоритную муку непосредственно на осушенном торфянике при послойно-поверхностной его обработке.

Компост готов к использованию через 2–3 мес. Их можно применять на всех почвах Нечерноземной зоны. При использовании торфофосфоритных компостов целесообразно дополнительно вносить калийные удобрения, особенно на бедных калием почвах. Учитывая, что в первый год после внесения

действие азота торфа может оказаться слабым, следует использовать и азотные удобрения.

Технология приготовления и использование торфонавозных компостов (ТНК). Компостирование торфа с навозом позволяет в 2–3 раза повысить выход органических удобрений в хозяйстве и мобилизовать инертное органическое вещество торфа.

В зависимости от сроков компостирования соотношение навоза и торфа составляет 1:1 или 1:2 (в весеннее-летний период долю торфа увеличивают). Для улучшения удобрительных свойств компоста в процессе его закладки рекомендуется добавлять фосфоритную муку и хлористый калий (1,5–2 и 0,5% от массы компоста, соответственно). Если торф кислый, то следует добавлять и известковый материал (лучше доломитовую муку) – 1–2% от массы.

Для активизации микробиологических процессов температура в штабелях должна достигать 50–60 °С, что способствует переходу 20–25% органического азота торфа в усвояемое для растений состояние. Поэтому штабеля ТНК, в отличие от хранения подстилочного навоза, уплотнять не рекомендуется. В зависимости от времени года компост созревает за период от 2 до 9 мес.

Компосты готовят послойным, очаговым и площадочным способами. Летом ТНК можно готовить непосредственно на осушенном торфянике.

Послойный способ. Компост готовят в поле или в навозохранилище. Вначале укладывают слой торфа толщиной примерно 0,5 м, шириной 4–5 м, длиной – не менее 6–8 м. В полевом штабеле должно быть 100–200 т компоста, в навозохранилище масса определяется его вместимостью. На слой торфа укладывают слой навоза (25–30 см). Затем снова слои торфа и навоза до достижения высоты штабеля около 2 м. Сверху штабель закрывают слоем торфа (40–50 см), который поглощает образующийся аммиачный азот и ускоряет процесс компостирования.

Укладку штабеля в зимнее время, во избежание его промерзания, следует производить за 1–2 дня.

Очаговое компостирование. Обеспечивает лучшее разогревание компоста в зимнее время. На подушку торфа (толщиной 50–60 см, шириной 5–6 м) насыпают навоз кучами массой по 1 тонне в 2 ряда, располагая их в шахматном порядке через каждые 1–1,5 м. Всю подготовленную массу покрывают торфом, штабель с боков подравнивают бульдозером. Высота штабеля должна быть 2–2,5 м. При таком компостировании даже при сильном морозе температура внутри штабеля держится на уровне 25–30 °С.

Площадочный способ. В летнее время на торфяную подушку слоем 25–30 см сгружают и разравнивают необходимое количество навоза. Затем проводят 2–3-х кратное дискование тяжелой дисковой бороной для перемешивания компонентов компоста, и смесь сгребают в штабеля.

Влажность массы должна быть 60–75%. При снижении ее ниже 60% бурты следует поливать навозной жижей. Для улучшения качества рекомендуется добавлять фосфоритную муку (1,5–2% от массы компоста). Если компост заложен в летнее время, то через 3–4 мес. он готов к употреблению.

Компосты на осушенном низинном торфянике. Осенью проводят вспашку торфяника, весной вносят 0,3–0,4 т/га хлористого калия и 2–3 т/га доломитовой муки, затем разбрасывают навоз и рассеивают 8–10 т/га фосфоритной муки. Для доведения влажности торфа в слое 0–14 см до 60–65% проводят три–четыре дискования с интервалом пять–шесть дней и сгребают компостируемую массу в бурты. Для этого используют бульдозеры с ограничителями заглубления лопаты до 14 см.

Торфонавозные компосты вносят под все сельскохозяйственные культуры: под зерновые хлеба – 20–30 т/га, под пропашные полевые культуры – 40–60 т/га, под овощи – 60–80 т/га.

Технология приготовления и использование торфофекальных компостов. Фекальные массы являются быстродействующим удобрением. Питательные элементы в ней находятся в более доступной форме, чем в других органических удобрениях. Это преимущественно азотное удобрение: среднее

содержание азота в нем составляет 1,1%, фосфора – 0,26, калия – 0,22%. Азот на 70–80% представлен аммиаком и мочевиной, которые обеспечивают высокую эффективность фекалий в год внесения.

По санитарно-гигиеническим соображениям фекальные массы не следует использовать в чистом виде. Лучше их компостировать с торфом. Следует использовать торф влажностью 50–70%, при более высокой влажности существует опасность промерзания компоста в зимнее время, что затрудняет его использование весной. Соотношение компонентов компоста зависит от степени разложения и влажности торфа: при влажности 70% на 1 т низинного торфа следует брать 0,5–0,8 т фекалий, а на 1 т слаборазложившегося верхового торфа – до 2 т. При меньшей влажности – количество фекалий может быть увеличено до 3,0–3,5 т на 1 т торфа.

Для приготовления компоста на площадке в поле выгружают торф и укладывают его в два спаренных вала, так, чтобы между ними было углубление, а толщина слоя в местах соприкосновения валов составляла 40–50 см. Углубление заполняют фекальными массами, используя автоцистерны или жижеразбрасыватели. После впитывания фекалий массу сгребают бульдозером в штабеля, не уплотняя ее. В штабеле развивается температура 60–70 °С, при которой погибают возбудители болезней и гельминты. Компосты созревают через 2–3 мес., а при весеннее-летнем приготовлении – через 1–1,5 мес.

Возможно использование очагового и послойного способа закладки торфофекальных компостов, а также непосредственно на осушенном торфянике.

Торфофекальные компосты можно вносить под любые полевые культуры, под овощные культуры следует использовать не ранее, чем на 2-й год.

Дозы компоста составляют 10–15 т/га – под зерновые культуры, 20–25 т/га – под картофель, силосные, кормовые культуры, 20–40 т/га – под овощные.

Технология приготовления и использование торфожижевых компостов (ТЖК). Навозная жижа является быстродействующим азотно-

калийным удобрением. Она накапливается при применении ограниченного количества подстилки и при разложении навоза во время хранения. Лучшим способом ее использования является компостирование с торфом. Соотношение компонентов и технология приготовления торфожижевых компостов та же, что и торфофекальных. Для улучшения качества ТЖК к нему добавляют фосфоритную муку в количестве 1,5–2% от массы торфа.

Весной и летом компост созревает за 1–1,5 мес., зимой – за 3–4 мес. По эффективности ТЖК не уступает навозу. Дозы колеблются от 20 до 60 т/га.

По такой же технологии можно готовить **компосты с жидким навозом и птичьим пометом.**

Для приготовления компостов на основе торфа можно использовать **отходы промышленности и коммунальных хозяйств**, которые необходимо предварительно подвергнуть санитарно-гигиенической экспертизе, так как они могут содержать тяжелые металлы, моющие средства, нефтепродукты, канцерогенные соединения, патогенные микроорганизмы.

Не следует применять в чистом виде осадки с содержанием тяжелых металлов выше предельно допустимых концентраций (мг/кг сухого вещества): Co – 60, Cd – 20, Pb – 550, Hg – 10, Ni – 150, Cu – 700, Zn – 2000, Cr – 650. Если содержание одного из перечисленных металлов превышает указанные значения, этот осадок можно использовать только в составе компоста с чистым по содержанию этого металла органическим веществом (разбавление торфом, опилками, корой или навозом).

Для приготовления компостов можно использовать как механически обезвоженные осадки, так и подсушенные на иловых площадках.

Агрономическая и экономическая эффективность применения компостов на торфяной основе во многом зависит от соблюдения технологий их приготовления, что определяет их качество и влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Как правило, их действие не хуже, чем навоза. Систематическое применение высококачественных компостов не только

повышает урожайность сельскохозяйственных культур, но и существенно улучшает плодородие почвы.

Верховой торф используется преимущественно в подстилку. Проветренный низинный торф хорошо использовать для мульчирования почвы и приготовления торфоперегнойных горшочков.

2.2.6 ВЕРМИКОМПОСТ (БИОГУМУС)

Вермикомпост (коммерческое название – биогумус) – продукт переработки навоза, соломы, растительных остатков и других органических отходов дождевыми червями, среди которых наибольшую популярность получил красный калифорнийский гибрид *Eusemia Foetieda anarei*, выведенный в штате Калифорния (США) в 50-е годы прошлого столетия селекционным путем на основе высокопродуктивной линии навозного червя. Длина взрослой особи до 6–8 см, масса – около 1 г.

С начала 80-х годов его стали использовать в России. В отличие от обычных червей культивируемые черви живут дольше (до 16 лет) и быстрее размножаются. Один взрослый червь может давать до 1500 особей в год. Взрослый червь за сутки потребляет количество пищи, равное массе тела, и 60% ее выделяет в виде экскрементов. Оптимальные условия для его размножения: температура около 15–20°C, pH 7–8, достаточная аэрация, влажность – 80–90%. Численность популяции за год увеличивается в 4–10 раз.

Вермикомпосты готовят в кучах или емкостях. Плотность заселения – 30–100 тыс. червей на одно ложе (размеры ложе – 1×2 м), масса сырья – 1–1,2 т в год. Кормом могут быть ферментированные органические вещества: навоз, солома, трава, опавшая листва, ветви деревьев, отбросы, картон, бумага и др. Птичий помет в чистом виде использовать нельзя, необходимо предварительное компостирование его с торфом или другими органическими отходами.

Ферментацию проводят путем выдерживания (компостирования) увлажненного и уложенного слоями сырья в течение 1–1,5 мес. Если реакция сырья кислая, перед началом ферментации в него добавляют известь или мел. В корм желательно добавить до 10% минеральных субстратов в виде цеолитов, почвы гумусового горизонта. Прохождение температурной стадии в процессе компостирования снижает количество жизнеспособных семян сорняков, вредителей и возбудителей болезней, условия существования которых близки к условиям дождевого червя, например, нематоды. По истечении указанного срока, когда температура в уложенной массе снизится до 20 °С, делают отверстия и запускают червей (по 100 особей на отверстие). Через 3–4 мес. отходы превращаются в компост. Для отделения червей предлагаются разные способы, среди которых – расположение рядом со старой кучи новой, куда черви сами переползают в поисках пищи.

Вермикомпосты, как правило, представляют собой сбалансированное гранулированное органическое удобрение, содержащее 30% (на абсолютно сухое вещество) гумуса, 0,8–3,0 – азота, 0,8–5 – фосфора, 1,2 – калия, 2–5% кальция. Они являются более качественными и более эффективными, чем обычные компосты, так как в большей степени обеззаражены, содержат значительно больше полезных штаммов микрофлоры, биостимуляторов, ускоряющих рост, развитие и созревание растений.

Дозы внесения вермикомпоста колеблются от 0,3 до 5 т/га. Каждая его тонна повышает урожайность зерновых в первый год на 6 ц/га и еще на столько же – за ротацию севооборота. Урожайность картофеля повышается на 40–50 ц/га и более.

Вермикомпост можно использовать как компонент тепличных грунтов – до 20–25% объема. Есть опыт использования его в качестве подкормок (100–200 г под каждое растение в прикорневую зону) и для некорневого опрыскивания с целью профилактики болезней и заселения некоторыми вредителями.

В настоящее время имеется ряд крупных фирм по разведению калифорнийских червей и производству вермикомпостов в Санкт-Петербурге, Твери, Москве, Владимире, Новосибирске, Самаре и других городах.

2.2.7 ЗЕЛЕНОЕ УДОБРЕНИЕ

Зеленое удобрение (*сидерат*) – это свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения органическим веществом, азотом и другими элементами питания. Этот прием называют *сидерацией*.

Сидераты, как и другие органические удобрения, повышает буферную и поглощательную способность почвы, улучшает ее структуру, воздухопроницаемость, влагоемкость, повышают связность песчаных и супесчаных почв, снижают их кислотность, содержание подвижного алюминия, засоренность полей. Зеленое удобрение усиливает микробиологическую активность почвы: повышается масса сапрофитной микрофлоры, актиномицетов, а фитопатогенной – снижает; надпочвенный и почвенный воздух обогащается углекислым газом, что улучшает воздушное питание растений. Поэтому оно является важным средством повышения плодородия почв, особенно там, где не хватает навоза или имеются сложности доставки его на удаленные поля. Запашка сидератов на месте их выращивания не требует транспортных средств.

Высоко значение сидератов в борьбе с потерей питательных элементов вследствие водной и ветровой эрозии почв, так как они сокращают время нахождения почвы без растительности. Зеленое удобрение выполняет важную фитосанитарную роль: снижает поражение картофеля паршой, зерновых – корневыми гнилями вследствие накопления в почве актиномицетов (антагонистов возбудителя корневой гнили). Зеленое удобрение не только повышает содержание гумуса в почве, но и изменяет его фракционный состав в направлении повышения содержания гуминовых кислот. Оно в 4–5 раз дешевле подстильного навоза и компостов, имеет высокое содержание биогенных макро- и микроэлементов.

В качестве сидератов выращивают бобовые растения (люпин, сераделлу, донник, озимую вику, эспарцет и др.), а также небобовые (рапс, горчицу, сурепицу). Благодаря клубеньковым бактериям, живущим на корнях бобовы, растения накапливают до 150–200 кг/га азота, что равноценно внесению 30–40 т/га навоза. Этот азот следует учитывать в балансе азота в земледелии. Так как в составе бобовых сидератов преобладает азот (табл. 24), то при их запашке необходимо дополнительное внесение фосфора и калия в виде соответствующих удобрений.

Таблица 24 – Содержание питательных элементов в зеленой массе сидератов, %

Сидерат	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Люпин однолетний	0,45	0,10	0,17	0,47
Донник	0,77	0,05	0,19	0,97

Небобовые сидераты являются почвозащитными культурами, так как препятствуют вымыванию нитратов в осенний период и предотвращают потери азота вследствие денитрификации. Они обогащают почву органическим веществом при запашке, но на баланс азота не влияют.

За счет глубокого проникновения корневой системы в почву и способности к усвоению труднорастворимых минеральных соединений небобовые сидераты обогащают пахотный слой усвояемыми формами фосфора и калия.

Сидераты могут занимать поле в течение одного или нескольких вегетационных сезонов (*самостоятельные посевы*), возделываться совместно с другой культурой или в ее междурядьях (*уплотненные посевы*), а также выращиваться в течение короткого периода от уборки одной культуры до посева другой (*промежуточные посевы*).

Использование зеленого удобрения может быть полным, укосным и отавным. *Полное использование* – когда в почву запахивают всю зеленую и корневую массу; *укосное* – когда зеленую массу перевозят и запахивают на другом поле, а на поле выращивания запахивают отросшую отаву и корни;

отавное – когда запахивают отросшую отаву и корни, а надземную массу используют на корм скоту. При последнем способе можно получить 20–30 т/га зеленой массы и 10–15 т/га отавы на зеленое удобрение. Алкалоидный люпин возделывают только на удобрение, безалкалоидный – на удобрение и на корм скоту.

Под сидеральные бобовые культуры следует вносить только фосфорно-калийные удобрения, а семена обработать ризоторфином и молибденовыми удобрениями (соответственно 200 и 25–50 г на гектарную норму семян) для активизации работы клубеньковых бактерий. Из фосфорных удобрений можно использовать фосфоритную муку, так как эти культуры способны усваивать фосфор из труднорастворимых соединений.

Эффективность зеленых удобрений зависит от вида, продуктивности и способа использования. Темпы разложения зеленых удобрений зависят от гранулометрического состава, влажности почвы, возраста растений в момент заделки и глубины их заделки в почву. Чем в более позднюю фазу развития растений проведена их заделка, чем тяжелее почва, выше ее влажность и глубже заделка, тем медленнее происходит их минерализация.

Одним из недостатков использования сидератов является иссушение почвы во время вегетации растений. В засушливый период их заделка может быть неэффективной, а иногда и дать отрицательный результат. Это наблюдается в сидеральных парах, когда растения запахивают с опозданием (незадолго до посева озимых). Запашку следует проводить не позднее, чем за 25–30 дней до посева следующей культуры. Под яровые культуры ее лучше осуществлять поздно осенью или весной.

Глубина заделки зеленого удобрения оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и на обогащение почвы гумусом. При глубокой заделке, особенно важной для легких почв, происходит более существенное воздействие на накопление гумуса в почве, но слабое – на урожайность сельскохозяйственных культур.

Разложение зеленого удобрения в почве протекает быстрее, чем других органических удобрений, богатых клетчаткой. Добавление к нему при заашке богатых микрофлорой органических удобрений (навоза, птичьего помета, навозной жижи, фекальных масс и др.) ускоряет темпы минерализации. Коэффициент использования азота из зеленого удобрения в год внесения в два раза выше, чем из подстилочного навоза, а положительное действие его в севообороте наблюдается в течение нескольких лет.

Прибавка урожая зерна озимой ржи от заашки люпина составила на песчаных почвах 0,42 т/га, на супесчаных – 0,47 т/га, на суглинистых – 0,77 т/га (данные ВНИИА, среднее из 36 опытов). Зеленое удобрение можно с успехом применять на всех почвах в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия. Возможности использования его в Нечерноземной зоне практически не ограничены. Например, после уборки озимых и ранних яровых культур достаточно времени, тепловых и водных ресурсов для успешного выращивания подсеваемых и пожнивных культур.

2.2.8 САПРОПЕЛИ

Сапропели (от греч. *sapros* – гнилой и *pelos* – грязь, ил) это донные отложения пресных водоемов различной окраски – от розовой до темно-коричневой. На воздухе естественная окраска исчезает. Сапропели образуют остатки растений и животных, минеральные и органические примеси, приносимые ветром и водой.

Россия располагает крупнейшими в мире запасами сапропелевых месторождений, составляющими по предварительной оценке более 250 млрд. тонн в расчете на стандартную влажность. В Нечерноземной зоне запасы сапропелей составляют около 40 млрд м³. Их много в Ленинградской, Архангельской, Псковской, Ярославской области, в Карелии. В Смоленской области по прогнозным оценкам насчитывается 100 месторождений с запасом 200 млн м³ сапропелей, в том числе, разведанные запасы 15 месторождений

составляют 10 млн м³. В настоящее время масштабы добычи и использования сапропеля значительно меньше, чем ежегодное накопление в естественных и искусственных водоемах.

Сапропели содержат не менее 15% органического вещества, а также неорганические компоненты биогенного и привносного характера. В их состав входят гуминовые кислоты, фульвокислоты, гемицеллюлоза, целлюлоза, битумы, зола, а также биохимически активные вещества (аминокислоты, витамины и др.).

Элементный состав органического вещества изученных сапропелей следующий (%): углерод – 53–60, водород – 6–8, кислород – 30–36, сера – 1,5–2,5. Содержание азота в сапропеле достигает 4–6%, фосфора – 1, калия – 0,5, карбонатов – 25% и более. Зольность колеблется от 20 до 60%. Основные компоненты золы сапропелей – оксид кремния, углекислый кальций, оксиды магния, железа, алюминия, марганца, фосфора, натрия. Фосфор в сапропелях находится в виде фосфорнокислой закиси железа (вивианит) в различных соединениях с органическим веществом.

Сапропели имеют высокую емкость поглощения (28–102 мг-экв/100 г воздушно сухого вещества). Среди поглощенных катионов преобладает кальций. Содержание катионов алюминия и железа – 21–26 мг-экв/100 г воздушно сухого вещества. Они содержат также значительное количество примесей различных микроэлементов, концентрация которых колеблется в широких пределах, а также тяжелых металлов, в связи с чем необходим контроль состава сапропелей.

Природное разнообразие сапропелей предопределяет широкий диапазон их практического использования: в земледелии в качестве удобрений и регуляторов роста растений, в кормопроизводстве для кормовых витаминных добавок, в медицине и ветеринарии для лечебных целей, в области охраны окружающей среды для мелиорации и рекультивации нарушенных и легких почв, в строительстве.

В зависимости от содержания кремнезема (SiO_2) и оксида кальция (CaO) сапропели подразделяют на *кремнеземистые, известковистые и сапропели смешанного типа*. Известковистые сапропели могут рассматриваться как эффективные органо-известковые удобрения. По снижению кислотности почв они не уступают мелу и доломитовой муке. Кремнеземистые сапропели не имеют удобрительной ценности.

Несмотря на огромные запасы, доля сапропеля в общем балансе применяемых в Нечерноземье органических удобрений составляет менее 1%.

Сапропели добывают земснарядами с намывом пульпы в отстойники, где в первый год он обезвоживается, а на второй год после промораживания (в результате чего он становится рыхлым) его сушат до сыпучего состояния с влажностью около 50%. При этом закисные соединения окисляются. Подсушенный сапропель равномерно распределяют по полю и спустя неделю производят его заделку в почву.

Сапропели – малотранспортабельный материал. Экономически оправдана перевозка его на расстояние до 20 км.

По удобрительной ценности 1 т сапропелей равноценна 0,6–0,7 т торфонавозных компостов. Его целесообразно применять в качестве удобрения при недостатке навоза и, прежде всего, на полях, расположенных вблизи мест добычи.

2.3 БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Бактериальные удобрения – это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур. Широкое распространение получили препараты, содержащие азотфиксирующие микроорганизмы.

Наиболее эффективным бактериальным удобрением является *ризоторфин*. Он используется для повышения азотфиксирующей способности бобовых культур. Это культура клубеньковых бактерий, размноженных в стерильном торфе с частицами 0,25 мм (мелкие частицы способствуют лучшей

прилипаемости к семенам бобовых культур). В 1 г ризоторфина должно содержаться не менее 2,5 млрд клубеньковых бактерий. Ризоторфин используют в дозе 200 г на гектарную норму семян. Он выпускается отдельно для люпина, гороха, вики, кормовых бобов, фасоли, сераделлы, клевера, люцерны и применяется только под те культуры, для которых предназначен. Хранят бактериальные препараты при положительной температуре в сухом помещении отдельно от пестицидов. Ризоторфин выпускается в полиэтиленовых пакетах, которые не рекомендуется открывать до применения.

При обработке семян ризоторфином следует применять растворы-прилипатели: латекс (42%-ный раствор синтетического каучука), гуммиарабик (40%-ный водный раствор), NaКМЦ (1%-ный водный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы), ПВС (22,2%-ный раствор поливинилового спирта), обрат, который получают в результате сепарации цельного молока. Обработку семян ризоторфином можно совмещать с обработкой микроудобрениями и фунгицидами.

На почвах Белоруссии прибавка урожая зерна бобовых культур (люпин, горох, кормовые бобы) от обработки семян ризоторфином составила 1,5–3,0 ц/га, сена клевера – 2,0–5,0, люцерны – 5,0–12,0 ц/га. Чем ниже активность природной популяции почвенных азотфиксаторов, тем выше эффективность этого препарата. Наибольший эффект отмечен на почвах легкого гранулометрического состава.

Разработана промышленная технология получения гранулированного ризоторфина, эффективность которого на крупносемянных бобовых культурах на 10–12% выше, чем порошковидного. Проходит испытание сапропелевая форма препарата (*сапропелевый нитрагин – сапронит*). Нередко его эффективность превосходит ризоторфин.

На основе азотобактера методами генной инженерии в Белоруссии разработан бактериальный препарат *ризофил*, который может использоваться на культуре томата и огурца, повышая их урожайность на 25% и заменяя 20% азота минеральных удобрений биологически фиксированным азотом.

Интересным направлением использования азотфиксирующих бактерий является применение их на небобовых культурах. Это так называемые ассоциативные азотфиксаторы. По обобщенным данным в зависимости от почвенно-климатических условий и вида растений размеры ассоциативной азотфиксации составляют от 3 до 50 кг/га азота в год в странах с умеренным климатом и до 200–600 кг/га – с тропическим. Среди ассоциативных азотфиксаторов наиболее интересна *азоспирилла*, позволяющая в благоприятных условиях обеспечивать до 40–50% потребности растений в азоте. Так, обработка семян ячменя азоспириллой по эффективности равноценна внесению 30–40 кг/га минерального азота. Эти микроорганизмы размещаются в верхних слоях растительной ткани корней.

На основе азоспириллы и торфа разработан азотобактерин, который в 1 г препарата содержит $1 \times (10^9 - 10^{11})$ бактерий. Его эффективность на небобовых культурах можно продемонстрировать на следующем примере: на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая зерна ячменя от его применения колебалась от 6 до 9 ц/га, сена многолетних злаковых трав – от 9 до 12 ц/га.

Таким образом, использование бактериальных удобрений позволяет повысить азотфиксирующую способность бобовых культур и существенно сократить расход минерального азота под небобовые культуры (за счет развития ассоциативной азотфиксации).

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте значение органических удобрений. Назовите способы хранения навоза, их преимущества и недостатки.
2. В каких дозах используют навоз под зерновые, пропашные, овощные культуры?
3. Назовите особенности использования птичьего помета как удобрения.
4. Каковы особенности использования сапропелей?
5. Сравните эффективности разных сидератов и назовите способы выращивания и использования зеленого удобрения.
6. Какие требования предъявляют к торфу, используемому в качестве удобрения?
7. Перечислите виды компостов. Охарактеризуйте технологию их приготовления.
8. Что такое вермикомпосты, как их получают и используют?
9. Расскажите о бактериальных удобрениях.

3 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ



Под *системой удобрения* понимают комплекс научно обоснованных агротехнических и организационно-экономических мероприятий по размещению органических, минеральных удобрений, известковых и других материалов под сельскохозяйственные культуры с учетом их биологических особенностей, сортовой специфики, плодородия почвы, типа севооборота, предшественников, состава и свойств удобрений, климатических и погодных условий и других факторов.

Академик Д.Н. Прянишников отмечал, что система удобрения – это то звено агрохимии, с помощью которого она связана с сельскохозяйственным производством. Само понятие о системе удобрения возникло гораздо позже, чем о системе земледелия и системах ведения сельского хозяйства. Система удобрения является частью системы земледелия.

Проектирование системы удобрения осуществляется по отдельным культурам, по каждому севообороту, лугам, пастбищам, садам, а также по хозяйству в целом.

Система удобрения в хозяйстве – это комплекс агрономических и организационно-экономических мероприятий по рациональному использованию минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов (известки, гипса и др.) для оптимизации плодородия почвы, повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, улучшения качества продукции растениеводства и повышения производительности труда в растениеводстве. Она является объединяющим звеном всех форм систем удобрения и имеет свое специфическое назначение. Это плановые объемы накопления и приобретения удобрений, обеспечение их хранения, учета, распределения по внутрихозяйственным объектам применения (севооборотам, кормовым угодьям, садам и т. д.), техническое обеспечение для погрузочно-разгрузочных работ, транспортировки, внесения удобрений с учетом

природоохранных мер, оценка агрономической и экономической эффективности агрохимических мероприятий.

Количественно она характеризуется средним объемом органических (т) и минеральных удобрений (кг д.в.) на 1 га сельскохозяйственных угодий. Система удобрения в хозяйстве подразумевает наличие научно обоснованной системы применения удобрений в севооборотах и других сельскохозяйственных угодьях (луга, пастбища, сады и др.).

Под *системой удобрения в севообороте* понимают распределение органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов по полям севооборота для обеспечения максимального агрономического и экономического эффекта, повышения плодородия почв или сохранения его на имеющемся высоком уровне. Система удобрения в севообороте является частью системы удобрения в хозяйстве, составляется на ротацию, лугов и пастбищ – на период их использования, садов – на период от первичного окультуривания почвы до конца хозяйственного использования сада.

Она разрабатывается с учетом средневзвешенных значений плодородия почв всех полей севооборота (угодий) и ежегодно уточняется в *годовых планах* применения удобрений с учетом размещения культур по полям и плодородия почв этих полей, а также погодных условий, фактической обеспеченности хозяйства удобрениями и других факторов. Количественно она характеризуется средним объемом органических (в тоннах) и минеральных (в кг д. в.) удобрений в расчете на 1 га севооборотной площади за ротацию севооборота или период использования угодий. Качественно – окупаемостью 1 кг д. в. минеральных и 1 т органических удобрений урожаем всех культур севооборота (угодья) в пересчете на кормовые (зерновые) единицы.

Система удобрения отдельных культур находится в тесной неразрывной связи с системой удобрения в севообороте, однако между ними нельзя ставить знак равенства. Она составляется ежегодно (годовые планы) с учетом биологических особенностей культур, сортов, почвенного плодородия конкретного поля, погодных и других условий. Количественно она

характеризуется годовой дозой минеральных и органических удобрений на 1 га посева конкретной культуры, качественно – оплатой 1 кг NPK минеральных и 1 т органических удобрений прибавкой урожая (в кг).

В зависимости от используемых удобрений система удобрения может быть *органической, минеральной и органо-минеральной*. Крупные землепользователи всегда используют органо-минеральную систему удобрения, как наиболее перспективную. Она является основой расширенного воспроизводства плодородия почв и позволяет оптимизировать баланс питательных элементов. Органическая система удобрения является более затратной и допустима на мелких землях.

Минеральную систему удобрения целесообразно использовать ограниченный период времени и преимущественно на богатых органическим веществом почвах.

Цель любой системы удобрения – обеспечить максимально возможную агрономическую и экономическую эффективность производства продукции растениеводства при условии экологической безопасности ее использования.

Задачи системы удобрения заключаются в следующем:

- повысить продуктивность сельскохозяйственных культур;
- улучшить качество получаемой продукции;
- повысить или сохранить на имеющемся высоком уровне плодородие почв;
- сохранить в чистоте окружающую среду;
- обеспечить рост экономической эффективности применения удобрений, производительности труда и рентабельности производства продукции растениеводства и животноводства (через дешевые корма).

Общие основные положения научной системы применения удобрений следующие:

1. Наибольшая эффективность удобрений проявляется на фоне высокой культуры земледелия, роль агротехники особенно возрастает при использовании высоких доз удобрений. Высокими дозами удобрений нельзя

компенсировать нарушения других звеньев научного земледелия. Уместно вспомнить слова Д.И. Менделеева, который в 1867 году писал: ***«Я встаю против тех, кто печатно и устно проповедует, что все дело в удобрении, что хорошо удабривая, можно и кое-как пахать»***.

2. В процессе роста и развития каждое культурное растение предъявляет свои, отличные от других растений, требования к наличию в почве оптимальных количеств и в требуемом соотношении питательных элементов в доступной форме. Впервые фазы развития растений корневая система слаборазвита и очень чувствительна к недостатку питательных элементов, особенно фосфора, многие растения в этот период чувствительны и к повышенной концентрации солей. Как недостаток, так и избыток питания в этот период отрицательно сказывается на росте, развитии растений и формировании урожая.

3. Растения предъявляют специфические требования не только к наличию в почве запасов питательных элементов, но и к концентрации почвенного раствора в разные периоды роста и развития. Это, а также особенности взаимодействия удобрений с почвой, способность многих из них к миграции по почвенному профилю, вызывает необходимость внесения удобрений в разные сроки и слои почвы: под вспашку или культивацию до посева (основное внесение), при посеве (в рядки) и во время вегетации (подкормки).

4. При распределении удобрений между севооборотами и культурами учитывают особенности последних. Наиболее высокая окупаемость удобрений у овощных культур, поэтому в первую очередь удобрениями обеспечиваются овощные севообороты. Высокая потребность в удобрениях полевых севооборотов, насыщенных пропашными и, особенно, техническими культурами (сахарная свекла, лен, хлопчатник и др.), а также кормовых севооборотов, насыщенных кукурузой, кормовыми корнеплодами и др.

5. Чаще всего при эквивалентных дозах по суммарному количеству биогенных элементов органические и минеральные удобрения равноценны. Так

как органические удобрения лучше оплачиваются урожаями культур с более длительным развитием, их лучше вносить в севооборотах, насыщенных высокопродуктивными кормовыми культурами и находящимися вблизи животноводческих ферм. В полевых севооборотах, как правило, более удаленных от ферм, целесообразно использовать минеральные удобрения.

6. При планировании доз удобрений важно учитывать также последствие внесенных удобрений, особенно органических, проведение фосфоритования почв, осуществлять систематический контроль плодородия почв, баланса питательных веществ и гумуса в почве.

Как показывает многолетний опыт, системы удобрения не могут быть повсюду одинаковыми уже в силу разнообразия почвенно-климатических зон. Применение удобрений имеет межзональную и внутризональную специфику, что связано не только с растениями и почвами, но и с климатом, погодными условиями, температурным режимом почвы, атмосферы и др.

3.1 ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

Нечерноземная зона – это зона достаточного, а иногда и избыточного увлажнения, и недостаточной или умеренной обеспеченности теплом. Гидротермический коэффициент – более 1,3. Это обуславливает преобладание промывного типа водного режима, а во многих случаях – переувлажнение почвы в течение длительного периода. Однако в восточных областях Нечерноземной зоны в отдельные годы в почвах может быть недостаток влаги.

Почвы имеют низкое естественное плодородие: кислую реакцию среды, низкое содержание гумуса и основных элементов питания. Хорошо окультуренных почв насчитывается не более 10–15%. Бедность почв Нечерноземной зоны европейской части России элементами питания и сравнительно хорошая обеспеченность их влагой и теплом обуславливают высокое действие удобрений. В пределах зоны эффективность удобрений

снижается с запада на восток, что связано с уменьшением в этом направлении количества тепла и влаги.

Одной из важнейших задач рациональной системы удобрения в Нечерноземной зоне является **окультуривание** почв – повышение общего уровня их плодородия. Этот процесс требует времени и значительных затрат. Основными элементами системы удобрения здесь являются ***известкование и фосфоритование кислых почв, максимальное накопление и использование органических удобрений, применение достаточно высоких доз минеральных удобрений.***

Разработку системы удобрения в севообороте в этой зоне необходимо начинать с определения места известкования и дозы известковых удобрений. Желательно, чтобы известкование кислых почв предшествовало применению удобрений, кроме фосфоритной муки, эффективность которой зависит от кислотности почвы.

Важной отличительной чертой системы удобрения в Нечерноземной зоне является высокая эффективность азотных удобрений.

Как показали исследования с азотными удобрениями, мечеными тяжелым изотопом ^{15}N , даже при высоких их дозах (или высоких дозах навоза) доля почвенного азота в питании растений составляет не менее 40–50% от общей их потребности в азоте. Поэтому одной из важнейших задач системы земледелия является мобилизация почвенных запасов азота. Она может быть достигнута путем внедрения рациональных систем обработки, устранения излишней кислотности почвы, осушения переувлажненных почв и других приемов, способствующих усилению минерализации гумуса. На этом фоне должно быть увеличено поступление в почву органического вещества за счет внесения органических удобрений, выращивания многолетних трав.

Своеобразие решения проблемы азота в земледелии Нечерноземной зоны состоит в том, что, наряду с использованием минеральных азотных удобрений и органических удобрений, особая роль принадлежит так называемому «биологическому» азоту, поступающему в почву за счет симбиотической и

несимбиотической азотфиксации клубеньковыми бактериями и свободно живущими в почве азотфиксаторами. Выращивание бобовых культур и использование их в качестве зеленого удобрения позволяет в значительной степени снизить напряженность проблемы азота в земледелии Нечерноземья.

Чаще всего во втором минимуме в почвах этой зоны находится фосфор, а на легких почвах – калий. Недостаток этих элементов ослабляет использование растениями других элементов питания, в том числе азота. Своеобразием решения проблемы фосфора в земледелии зоны является возможность широкого использования мелиоративных приемов – известкования и фосфоритования кислых почв. При $pH_{КСД}$ менее 5,5, гидролитической кислотности не менее 2,5 мэкв/100 г почвы и содержании подвижных фосфатов (по Кирсанову) менее 50 мг/кг почвы следует проводить фосфоритование. Целесообразно сначала провести фосфоритование, например, осенью, а затем весной – известкование. Если оба мероприятия необходимо провести в близкие сроки, то фосфоритную муку лучше внести под вспашку, а известь – под культивацию. Этим обеспечивается благоприятная реакция среды в верхнем слое почвы, необходимая для большинства растений на ранних этапах развития, разложение фосфоритной муки почвенными кислотами и усвоение ее фосфора растениями в более поздние сроки, когда корневая система будет более развитой.

Известкование, кроме создания благоприятной реакции почвенной среды для большинства сельскохозяйственных культур, приводит к мобилизации запасов почвенных фосфатов, а фосфоритование позволяет существенно повысить содержание в почве подвижных форм фосфора. Для улучшения фосфатного режима бедных фосфором почв целесообразно внесение фосфоритной муки в повышенных дозах – от 1,5 до 3,5 т/га, которые действуют в течение 7–10 лет.

Только при наличии всех необходимых растениям питательных элементов, а также при оптимальном физическом состоянии почв, благоприятных условиях для фотосинтеза и других, жизненно важных для

растений условий возможно получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Трудно переоценить значение органических удобрений в земледелии Нечерноземной зоны. Они являются источником пищи для растений, обогащают почву органическим веществом, основаниями, микрофлорой, повышают буферную способность почв. При их разложении выделяется тепло, углекислый газ. Примерно 15–20% органического вещества навоза переходит в состав гумуса. Установлено, что для поддержания бездефицитного баланса гумуса в дерново-подзолистых почвах в полевых севооборотах с зерновыми культурами и многолетними травами обеспеченность органическими удобрениями должна составлять 8–10 т/га, в полевых севооборотах с большой насыщенностью пропашными культурами – 10–15, овощных – 15–25 т/га (на тяжелых почвах обеспеченность ниже, чем на легких).

Система удобрения отдельных культур в Нечерноземной зоне складывается из допосевного (основного), припосевного (рядкового) и послепосевного (подкормок) внесения удобрений. В основное удобрение вносят, в первую очередь, органические, известковые, фосфорные и калийные удобрения.

В связи с недостатком водорастворимых фосфорных удобрений в Нечерноземной зоне можно использовать фосфоритную муку. Ее вносят не только как химический мелиорант, но и как основное удобрение в дозах 0,3–0,7 т/га. На почвах с очень высоким содержанием фосфора и калия можно временно использовать только азотные удобрения или перейти на органическую систему удобрения.

При посеве используют, главным образом, фосфорные или комплексные удобрения – гранулированный суперфосфат, аммофос, нитрофоску и другие сложные удобрения. Подкормка, чаще всего, проводится азотными или азотными и калийными удобрениями.

Учитывая высокую влагообеспеченность почв Нечерноземной зоны, имеют значение сроки внесения удобрений. Так, основную дозу азотных

удобрений, особенно нитратных, в силу высокой способности их к внутрипочвенной миграции, следует вносить весной, а хлорсодержащих калийных удобрений под чувствительные к хлору культуры, наоборот, осенью, чтобы хлор успел вымыться из корнеобитаемого слоя почвы за осенне-зимне-весенний период.

Хорошие результаты дают подкормки растений азотными и калийными удобрениями. В Нечерноземной зоне нецелесообразно внесение высоких доз азота (более 90 кг/га) в один срок или прием. Дробное применение таких доз позволяет повысить коэффициент использования азота из удобрений, их эффективность, повысить качество продукции.

Почвы Нечерноземной зоны часто бедны микроэлементами, особенно бором, медью, цинком, молибденом, кобальтом. Известкование кислых почв приводит к снижению их подвижности (кроме молибдена) и доступности растениям. После известкования снижается усвоение растениями и калия в силу антагонизма между ионами кальция и калия. На богатых фосфором почвах возникает дефицит цинка. Поэтому использование микроудобрений в этих условиях эффективно. Их используют для предпосевной обработки семян, внесения в почву до посева/посадки, в рядки вместе с семенами, для некорневой подкормки растений. Следует помнить, что передозировки микроудобрений более опасны, чем макроудобрений.

В Нечерноземной зоне значительная доля почв представлена осушенными торфяно-болотными почвами, обладающими высокой потенциальной продуктивностью. Система удобрения сельскохозяйственных культур на этих почвах основана на возможности использования больших запасов почвенного азота и ежегодном внесении фосфорных и калийных удобрений, так как эти почвы бедны калием и медью. Азотные удобрения применяют в основном для подкормки озимых зерновых и многолетних злаковых трав.

Таким образом, система удобрения на почвах Нечерноземной зоны основана на сочетании органических и минеральных макро- и микроудобрений.

Баланс питательных веществ в почвах Нечерноземной зоны должен быть положительным, т.е., поступление их в почву должно превышать расход на формирование урожаев и непродуктивные потери.

В Нечерноземье много эродированных почв. Их восстановление требует больших материальных затрат и здесь большое значение имеет органо-минеральная система удобрения в комплексе с другими агротехническими, лесо- и агромелиоративными мероприятиями.

Значительные площади почв Нечерноземной зоны оказались загрязненными радионуклидами в результате Чернобыльской катастрофы. Ведение растениеводства в этих условиях связано с использованием повышенных доз минеральных фосфорно-калийных удобрений и известковых материалов, ограничивающих переход радионуклидов из почвы в растения.

Эффективность удобрений в Нечерноземной зоне в значительной мере определяется общей культурой земледелия, внедрением высокопродуктивных сортов, комплексной защиты растений от болезней, вредителей, сорной растительности, проведением мелиоративных и агротехнических мероприятий.

3.2 СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

Значительная часть почвенного покрова Нечерноземной зоны представлена полугидроморфными и гидроморфными почвам, часть которых была мелиорирована (осушена).

В естественных условиях избыточное увлажнение сопровождается накоплением в верхнем горизонте грубого гумуса и его оторфовыванием, идут интенсивные восстановительные процессы с образованием закисных соединений Fe и Mn, формируются оглеенные или глеевые горизонты.

При осушении избыточно увлажненных почв изменяется направление почвообразовательного процесса: усиливается аэрация почв и минерализация органических веществ, активно протекают окислительные процессы.

Осушение болот и заболоченных земель обеспечивает в основном регулирование водного и воздушного режимов почвы. Удобрения играют важную роль в питании растений, повышая эффективность осушения.

По данным ВНИПТИХИМ 44% осушенных и 49% орошаемых пахотных почв Нечерноземной зоны имеют повышенную кислотность. Большинство торфяно-болотных почв низинного типа не нуждаются в известковании. Они имеют слабокислую, в отдельных случаях нейтральную реакцию. Но в центральной части Нечерноземной зоны при повышенной, а в некоторых случаях и высокой кислотности (рН 3,8–3,0) почвы нуждаются в известковании.

Минеральные почвы имеют неудовлетворительный азотный режим, связанный с неблагоприятными гидротермическими условиями и низкой микробиологической активностью почв.

Низинные торфяно-болотные почвы на 80–90% состоят из органических соединений, но в силу низкой микробиологической активности почв азот этих соединений практически не способен усваиваться растениями. Эти почвы бедны калием и фосфором, имеют кислую реакцию среды. Поэтому для успешного возделывания сельскохозяйственных культур на этих почвах необходимо известкование, систематическое внесение фосфорных и калийных, а в первые годы освоения почв – и азотных удобрений.

Заболоченные и болотные почвы, как правило, бедны микроэлементами, особенно медью, но в них много марганца.

Около половины мелиорированных почв имеют повышенную кислотность, после осушения и распашки торфяно-болотных почв создаются условия для мобилизации запасов органических соединений, где концентрируются основные запасы валового азота. Торфяно-болотные почвы, как правило, крайне бедны фосфором, калием, кальцием, магнием, медью и другими микроэлементами (за исключением марганца). Оптимизация агрохимических свойств мелиорированных почв предполагает доведение рН_{КС} на минеральных почвах до 5,5 и выше, содержания подвижных форм фосфора и калия – до 150–200 мг/кг почвы, гумуса – до 1,6–3% (в зависимости от

гранулометрического состава). На торфяно-болотных почвах система удобрения ставит целью доведение pH_{KCl} до 5,1–5,5, содержание подвижных фосфора и калия – до 400–800 мг/кг.

На осушенных минеральных почвах содержание гумуса низкое, а запасы азота, фосфора и калия в доступных для растений формах не велики. Особая роль в этих условиях принадлежит органическим удобрениям. Они не только обогащают почву питательными веществами, но и улучшают ее воздушный и тепловой режимы. Поэтому внесение органических удобрений – важный прием в комплексе окультуривания мелиорируемых земель, позволяющий повысить плодородие особенно минеральных почв легкого гранулометрического состава с небольшим гумусовым горизонтом. Дозы органических удобрений в первые годы освоения осушенных минеральных почв должны быть более высокими, чем на старопахотных почвах (не менее 40–60 т/га). Лучшим органическим удобрением, является торфо-навозный и торфо-навозно-фосфоритный компост.

Минеральные удобрения на осушаемых землях вносят весной под дискование с глубиной заделки 12–15 см.

Торфяные почвы богаты азотом, однако он находится в органической форме и доступен растениям только после минерализации. Наиболее эффективны на осушенных болотах калийные и фосфорные удобрения. Средние дозы фосфорных удобрений составляют 60–90 кг/га, калийных 120–180, азотных 45–60 кг/га.

Большинство осушенных болот имеют низкое содержание подвижных форм микроэлементов: меди, бора, молибдена, кобальта. Недостаток меди обычно восполняется использованием сульфата меди и пиритных огарков.

Эффективность молибденовых удобрений особенно высокая на кислых почвах. Их применяют под бобовые культуры, свеклу, капусту, на культурных сенокосах и пастбищах. Борные удобрения эффективны на дерново-карбонатных, дерново-глеевых и подзолистых почвах с нейтральной или близкой к нейтральной реакции среды, особенно на посевах сахарной и кормовой свеклы.

На вновь осваиваемых осушенных почвах, бедных азотфиксирующими бактериями, применяют бактериальное удобрение нитрагин. Для обработки 40–50 кг мелких и 140–180 кг крупных семян достаточно 0,5 л препарата. На торфяно-болотных почвах эффективны бактериальные удобрения АМБ, нитрагин и фосфобактерин.

Различают два варианта системы удобрения на осушенных почвах: первичное окультуривание почвы (период рассчитан на срок от 2 до 5 лет) и система удобрения на окультуренных мелиорированных землях.

При *первичном окультуривании*, рассчитанном на 2–5 лет, проводят известкование кислых почв повышенными на 15–20% дозами извести. Если дозы ниже, то известкование следует повторить через 3–4 года.

Минеральные почвы необходимо обеспечить органическими удобрениями в дозах 40–60 т/га в зависимости от выращиваемой культуры. На торфяных почвах для активизации микробиологической деятельности достаточно 15–20 т/га навоза или соответствующего количества других богатых микрофлорой органических удобрений. Лучшим органическим удобрением является торфо-навозный компост.

На осушенных болотах эффективны калийные и фосфорные удобрения. Их вносят в повышенных (на 20–30%) дозах, чем требуются для получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур. Средние дозы фосфорных удобрений 60–90 кг/га, калийных – 120–180, азотных – 45–60 кг/га.

Из фосфорных удобрений можно использовать самое дешевое и эффективное на кислых почвах удобрение – фосфоритную муку.

Система удобрения на окультуренных мелиорированных землях мало отличается от удобрения обычных почв. Эффективность минеральных удобрений на осушенных минеральных почвах остается высокой. На торфяно-болотных почвах система удобрения должна быть направлена на мобилизацию естественных запасов азота с применением небольших доз минеральных азотных удобрений, особенно в северных районах Нечерноземья.

Регулирование фосфатного и калийного режимов окультуренных мелиорированных почв невозможно без минеральных удобрений. Потребность в фосфорно-калийных удобрениях снижается по мере накопления в почвах «остаточных» количеств фосфора и калия.

Учитывая возможность потерь питательных элементов (азота, кальция, калия и магния) за счет инфильтрационных потоков в осенне-зимний период, на торфяно-болотных и минеральных почвах легкого гранулометрического состава основное удобрение вносят весной, непосредственно перед посевом культур. Лишь при подъеме уровня грунтовых вод не выше 60–70 см допустимо осеннее внесение органических, фосфорных и калийных удобрений.

3.3 ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ

В России эрозии подвержено 50 млн. га, что составляет почти четверть сельскохозяйственных угодий. В северной зоне преобладает водная плоскостная и линейная (овражная) эрозия, в южной зоне – ветровая эрозия.

Наибольшее развитие водная эрозия имеет место на плодородных дерново-подзолистых почвах, развивающихся на лессах и лессовидных суглинках. Содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах зависит от степени их смывости. На не смытых почвах оно составляет в среднем 2%, на среднесмытых – 1,3 и на сильносмытых почвах – 0,8%. Качество гумуса на смытых почвах ниже, чем на не смытых.

По обобщенным данным ВНИИА, в результате водной эрозии, на дерново-подзолистых почвах ежегодные потери гумуса составляют 40 кг/га, фосфора – 2,6, калия – 40 кг/га. Аналогично гумусу изменяются запасы азота в почве. На полях, занятых культурами сплошного сева, особенно многолетними травами, потери гумуса многократно ниже, чем на свободной от посевов вспаханной почве. С ростом степени смывости почвы урожайность снижается (до 10–60%).

Земледелие на эродированных землях связано с повышенными материальными затратами на воспроизводство почвенного плодородия. В восстановлении плодородия таких почв существенную роль играет применение органических и минеральных удобрений. Важным условием экологически безопасного использования удобрений и других средств химизации земледелия являются всесторонний учет природных особенностей ландшафта (почв, рельефа – длины, крутизны, формы и экспозиции склонов) и сочетание удобрений с комплексом мероприятий, сводящим к минимуму потери воды и почвы с поверхностным и внутрипочвенным стоком.

Удобрения способствуют ускоренному и более дружному появлению всходов высеваемых культур, улучшают развитие надземной вегетативной массы растений. Густота посевов на удобренных эродированных полях, как правило, выше, чем на неудобренных. Под влиянием удобрений лучше развивается корневая система растений, связывающая почву. Хорошо развитые надземная масса и корни являются надежным средством защиты почвы от выдувания и смыва. Корневые и пожнивные остатки после уборки урожая пополняют запасы органического вещества в почве и восстанавливают ее плодородие.

Систематическое использование повышенных (на 10–20%) доз органических и известковых удобрений является средством улучшения физических свойств почв и уменьшения поверхностного стока.

С учетом потерь питательных веществ дозы минеральных удобрений на сильносмывтых почвах повышают. На эродированных почвах азот находится в гораздо большем дефиците, чем на не эродированных землях. В связи с этим дозы азотных удобрений следует увеличивать на 20–30% на слабо эродированных и на 30–60% на средне- и сильноэродированных почвах. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая на смытых почвах в среднем на 53% выше, а доля их участия в прибавке урожая на 5–15% выше, чем на не смытых.

Дозы фосфорных и калийных удобрений устанавливают в соответствии с содержанием в почве подвижных форм фосфора и калия: повышают на 10–30% на слабосмытых почвах, на 30–50 – на среднесмытых и на 50–70% на сильносмытых почвах.

Экологически сбалансированные системы применения удобрений и средств химизации в севооборотах возможны только в рамках почвозащитного, ландшафтного земледелия, обеспечивающего надежную защиту почв от эрозии. В связи с этим необходимо сочетание удобрений с введением противоэрозионных севооборотов, использованием безотвальной, плоскорезной, минимальной, полосной, гребнистой или контурной обработки почвы поперек склонов, чизелевания, щелевания почвы. При плоскорезной обработке почвы потери питательных веществ за счет смыва в 2–8 раз ниже, чем при традиционной отвальной вспашке.

Необходим также комплекс лесо- и агромелиоративных противоэрозионных мероприятий (содержание валов-террас на пашне, водорегулирующих валов у вершины оврагов, залужение нижней части склонов, посадка лесных и кустарниковых полос у их подножья, на пути к водоему). Участки, сильно подверженные эрозии, необходимо засеивать многолетними травами. На легких по гранулометрическому составу почвах эффективно использование пожнивных посевов, а также уплотненных посевов почвозащитной культуры в междурядьях основной (пропашной).

Оптимальные сроки и рациональные способы внесения удобрений, особенно азотных, на почвах склонов – важное условие их эффективного применения и охраны окружающей среды от загрязнения. Неоправданным сроком внесения и способом заделки удобрений с точки зрения возможных потерь питательных элементов за счет поверхностного смыва является осеннее внесение без заделки или с мелкой заделкой. На склоновых землях основное удобрение следует заделывать более глубоко, чем на равнинных участках.

На склонах более эффективно локальное, внутрпочвенное внесение удобрений на глубину 10–15 см, способствующее сведению к минимуму потерь элементов питания за счет поверхностного стока.

Эффективны локальные способы внесения удобрений. На склоновых землях удобрения нередко вносят глубокорыхлителями-удобрителями типа ГУН -4 и КПП-2,2. Этими орудиями ленты можно располагать на разных глубинах.

При безотвальных обработках почвы на склонах предпочтение следует отдавать весенним срокам и ленточному внесению азотных удобрений. В этом случае значительно замедляются процессы нитрификации и миграции нитратных соединений в почве, а коэффициент использования азота из удобрений повышается на 30–32% по сравнению с осенним внесением.

Весенние подкормки азотом многолетних трав и озимых нельзя проводить по «черепку» из-за высокой вероятности потерь азота вместе с потоком талых вод, следует их проводить только после их схода, когда возобновляется вегетация растений.

Применение повышенных доз удобрений и несоблюдение сроков их внесения приводит к усиленному смыву питательных веществ из склоновых почв даже тогда, когда нет смыва самой почвы. Для уменьшения процессов эрозии на дерново-подзолистых почвах, повышения продуктивности эродированных почв и достижения положительного баланса гумуса необходимо иметь высокую насыщенность органическими удобрениями (не менее 24 т/га). Они повышают/восстанавливают плодородие почв, связность, ветро- и водоустойчивость почвы, общую влагоемкость и водоудерживающую способность.

Важную роль в повышении плодородия эродированных почв и защиты их от эрозии играет использование зеленого удобрения. Для этих целей выращивают однолетний и многолетний люпин, люцерну, клевер, кормовые бобы, горчицу белую, сурепицу, рапс, вику, сераделлу и другие культуры.

Возделывание сидеральных культур на склоновых землях в виде промежуточных, поукосных, пожнивных или парозанимающих посевов существенно ослабляет эрозионные процессы. При запашке зеленой массы на удобрение повышаются водопроницаемость и влагоемкость почв, усиливается их микробиологическая активность, улучшаются агрофизические свойства, в результате приостанавливаются эрозионные процессы, повышается плодородие почвы.

Эродированные почвы бедны микроэлементами, поэтому на них эффективно использование цинковых, молибденовых, борных, кобальтовых и других микроудобрений.

Таким образом, восстановление утраченного плодородия эродированных почв является трудной задачей. Оно требует длительного времени, использования комплекса противоэрозионных мероприятий, введения почвозащитных севооборотов, залужения сильноэродированных почв, выращивания сидератов, проведения лесомелиоративных мероприятий, больших затрат минеральных и органических удобрений.

3.4 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды и сельскохозяйственных угодий в мирное время являются аварии на ядерных реакторах.

В апреле 1986 года в результате аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС по оценкам специалистов было выброшено не менее 180 млн Ки радиоактивных веществ. Наиболее сильно пострадали Гомельская и Могилевская области Белоруссии. В 1990 г. загрязненных пахотных почв (свыше 1 Ки/км² по ¹³⁷Cs) в Беларуси насчитывалось 941,6 тыс. га, в том числе в Гомельской и Могилевской областях – соответственно 486,2 и 257,3 тыс. га (Смеян Н.И., Марцуль И.Н., 1990).

Загрязнение почв радионуклидами со средней плотностью загрязнения по ^{137}Cs более $1,0 \text{ Ки/км}^2$ охватило и 17 областей России, в том числе Брянскую, Белгородскую, Воронежскую, Калужскую, Курскую, Липецкую, Орловскую, Ленинградскую, Нижегородскую, Пензенскую, Ульяновскую, Смоленскую и Мордовию. Из 27 районов Брянской области 22 получили радиоактивное загрязнение выбросами ЧАЭС. Эффективное плодородие почв после аварии снизилось, цена почвы уменьшилась примерно в 2 раза.

По данным станции агрохимической службы «Смоленская» в 1990 году «цезиевые пятна» на территории Смоленской области с плотностью загрязнения $1-2 \text{ Ки/км}^2$ занимали $150-200 \text{ км}^2$.

В настоящее время радиоактивное загрязнение представлено искусственными изотопами ^{137}Cs , и ^{90}Sr , период полураспада которых составляет 30 и 28 лет соответственно, с преобладанием загрязнения ^{137}Cs . Эти радионуклиды в течение многих лет будут определять загрязненность почвы и растений. Для полного их распада должно пройти 280–300 лет. Принята градация почв по уровню загрязнения этими радионуклидами (табл. 25).

Таблица 25 – Градация почв по плотности загрязнения радионуклидами

Плотность загрязнения, Ки/км^2		Уровень загрязнения	Зона проживания
^{137}Cs	^{90}Sr		
1,0–5,0	0,15–1,0	Низкий	Проживание с льготным социально-экономическим статусом
5,1–15,0	1,1–3,0	Средний	Проживание с правами отселения
15,1–40,0	3,1–5,0	Высокий	Отселение с правом получения компенсации и льгот
>40	>5,0	Очень высокий	Зона отчуждения

С точки зрения транслокации радионуклидов из почвы в растения имеет значение характер их распределения по глубине и форма нахождения в почве. В растения переходят подвижные формы, находящиеся в зоне распространения корневой системы.

По принятой классификации в разной степени доступными для растений считаются три формы нахождения радионуклидов в почве: водорастворимая

(извлекаемая дистиллированной водой), обменная (извлекаемая 1н ацетатом аммония) и подвижная (извлекаемая 1 н HCl). «Фиксированная» форма радионуклидов (извлекаемая 6 н HCl) считается недоступной растениям.

Стронций-90 в основном закрепляется в почве по типу ионного обмена, как и кальций, а цезий-137 – кроме обменного поглощения фиксируется твердой фазой почвы необменно в кристаллических решетках глинистых минералов. По разным оценкам доля прочносвязанного цезия в загрязненных почвах составляет 76–98% от общего. Содержание обменно-поглощенного цезия зависит от типа почвы. В дерново-глеевых и торфяно-болотных почвах обменного цезия-137 насчитывается 22–66%, в дерново-подзолистых – 45–68, в пойменных – до 90%.

Основными процессами передвижения радионуклидов в почве являются диффузия из зоны высокой концентрации в зону с более низкой, перенос в потоке с тонкодисперсной фракцией почвы и перенос в составе растворимых органических соединений.

Наиболее проницаемыми для радионуклидов являются песчаные почвы, далее по мере ее снижения следуют супеси, осушенные торфяники, суглинки. Таким образом, на песчаных почвах следует ожидать продвижения радионуклидов на бóльшую глубину, чем на суглинистых почвах. При этом необходимо учитывать влажность: чем она выше, тем быстрее идет проникновение радионуклидов внутрь почвы.

Размеры внутрипрофильной миграции радионуклидов невелики. На необрабатываемых участках дерново-подзолистых почвах в украинском секторе ближней зоны ЧАЭС в слое 0–5 см присутствовало 96–98% всех γ -излучающих радионуклидов, а на глубине 5–15 см – только 1% (Ляшенко и др., 1993). На хорошо осушенных торфяных почвах в слое 0–5 см присутствовало 88,6% ^{137}Cs и 74% ^{90}Sr , тогда как на переувлажняемых верховых торфяниках максимальная концентрация радионуклидов была отмечена на глубине 5–7 см (Осипов и др., 1993). На непаханных почвах 30-километровой зоны

Белорусского радиозоологического заповедника проникновение радионуклидов ограничилось слоем 0–10 см с наибольшей концентрацией в слое 0–3 см.

При обработке почв радионуклиды перемещаются на значительную глубину, становится возможным их проникновение в подпахотные горизонты.

^{137}Cs и ^{90}Sr отличаются высокой подвижностью в почве и легко переходят в растения. Они являются химическими аналогами кальция и калия. Около 80–90% этих радионуклидов сосредоточено в зоне расположения основной массы активных корней сельскохозяйственных культур. В результате процессов водной и ветровой эрозии, обработки почвы происходит вторичное загрязнение почв и поверхностное загрязнение растений.

Поведение этих изотопов в системе почва–растение различно. Из почвы в растения ^{90}Sr поступает почти в 10 раз больше, чем ^{137}Cs . Только на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных почвах поступление ^{137}Cs в растения выше, чем ^{90}Sr , что связано с низким уровнем плодородия этих почв. На поступление в растения радиоизотопов стронция и цезия большое влияние оказывают следующие свойства почвы:

- содержание гумуса – чем оно выше, тем меньше ^{137}Cs , и ^{90}Sr переходит из почвы в растения;

- гранулометрический состав – при переходе от песчаных почв к суглинистым переход радионуклидов в растения снижается в зависимости от культуры в 1,4–3 раза;

- степень увлажнения почв – поступление ^{137}Cs в многолетние травы многократно увеличивается (в 10–27 раз) при переходе от автоморфных к гидроморфным почвам.

В настоящее время накоплен богатый экспериментальный материал по способам снижения перехода радионуклидов из почвы в растения, среди которых особая роль отводится удобрениям.

Существенно снизить поступление радионуклидов в растения можно с помощью известкования кислых почв, применения органических удобрений, внесения повышенных доз фосфорных и калийных удобрений, ограничения доз

азотных удобрений с использованием результатов почвенно-растительной диагностики.

Снижение радиоактивного загрязнения продукции при использовании удобрений происходит по следующим причинам:

- за счет улучшения питания растений увеличивается их биомасса и наблюдается эффект «разбавления» радионуклидов массой;
- повышается концентрация обменных катионов в почве, прежде всего кальция и калия;
- при корневом питании усиливается антагонизм между радионуклидами и ионами вносимых солей;
- при взаимодействии радионуклидов с удобрениями снижается их доступность растениям из-за перехода их в труднодоступные соединения.

Известкование кислых почв является наиболее эффективным способом снижения перехода радионуклидов из почвы в растения. Основной целью известкования кислых почв в зонах радиоактивного загрязнения является нейтрализация почвенной кислотности и насыщение почвенного поглощающего комплекса кальцием и магнием.

При внесении извести отношение Sr:Ca становится более широким, что затрудняет поступление ^{90}Sr в картофель в 10–20 раз, сено бобовых – в 6–8, зерно – в 2–4, солому злаков – в 3–4, овощи – в 5–7, ягоды – в 4–6 раз. Переход ^{137}Cs снижается в меньшей степени, иногда даже возрастает из-за нарушения соотношения Ca:K.

Дозы CaCO_3 определяются из расчета 1,5–2 Нг и дифференцируются в зависимости от плотности загрязнения. К загрязненным радионуклидами почвам, на которых требуется дополнительное внесение известковых удобрений, относятся почвы с уровнем загрязнения 1,0–40 Ки/км² по ^{137}Cs или 0,15–3,0 Ки/км² по ^{90}Sr . Почвы первых двух групп кислотности (сильно- и среднекислые) подлежат первоочередному известкованию в связи с высокой опасностью перехода радионуклидов в растения.

Можно использовать любые известковые материалы: известь, доломит, мергель, сланцевую и торфяную золу, дефекаат, металлургические шлаки. Чем кислее почва, тем выше эффект.

Калийные удобрения оказывают существенное влияние на снижение поступления радионуклидов в растения в связи с явлением антагонизма ионов калия и цезия в почвенном растворе и значительной прибавкой урожая сельскохозяйственных культур, особенно на бедных калием песчаных и супесчаных почвах. Калий и цезий являются химическими аналогами. С повышением концентрации калия в среде поступление ^{137}Cs снижается в 2–20 раз. Внесение калийных удобрений под культуры-калиефилы особенно необходимо, так как они накапливают и большее количество ^{137}Cs , чем другие культуры. Потребность в дополнительных дозах калия увеличивается с повышением загрязнения почв радионуклидами.

Дозы калийных удобрений должны быть существенно выше, чем азотных (180–300 кг/га K_2O). Наиболее эффективной дозой калия для уменьшения поступления в растения ^{137}Cs на дерново-подзолистой среднесуглинистой окультуренной почве является количество, эквивалентное 12,5% емкости поглощения. Внесение калийных удобрений на фоне известкования снижает его накопление в урожае в 4–5 раз. Более выражен эффект на почвах с низким содержанием обменного калия. В таблице 26 приведены нормативы потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях, принятые в Беларуси.

Для предотвращения неблагоприятных последствий от избыточных доз калия и ухудшения качества продукции предусмотрены ограничения. На дерново-подзолистых почвах с содержанием подвижных форм калия более 300 мг/кг и 1000 мг/кг на торфяно-болотных почвах, где калийные удобрения неэффективны, их внесение не предусматривается до очередного агрохимического обследования почв.

Таблица 26 – Нормативы основной и дополнительной потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях, кг/га K₂O

Почва	K ₂ O, мг/кг почвы	Основная потребность	Дополнительная потребность при плотности загрязнения, Ки/км ²		
			¹³⁷ Cs 1,0–4,9 ⁹⁰ Sr 0,15–0,29	¹³⁷ Cs 5,0–14,9 ⁹⁰ Sr 0,30–1,99	¹³⁷ Cs 15,0–40,0 ⁹⁰ Sr 2,0–3,0
Пашня					
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	-	-	-	-
Торфяно-болотные	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	-	-	-	-
Сенокосы и пастбища					
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	-	-	-	-
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	-	-	-	-

Фосфорные удобрения. Фосфорная кислота способна образовывать со Sr, как и с другими металлами второй группы, нерастворимые соединения. Поэтому, а также за счет повышения урожайности, внесение фосфорных удобрений существенно снижает переход ⁹⁰Sr из почвы в растения (в 2–20 раз в зависимости от дозы). На супесчаных и песчаных почвах Нечерноземной зоны, слабо обеспеченных подвижными формами фосфора и калия, внесение повышенных доз фосфорных удобрений (180–300 кг/га P₂O₅) снижает переход ¹³⁷Cs в 2–2,5 раза. В таблице 27 приведены принятые в Беларуси нормативы потребности в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами почвах.

Азотные удобрения. В районах радиоактивного загрязнения азотные удобрения следует использовать крайне осторожно. Есть немало данных о

повышении содержания ^{90}Sr в растениях на фоне азотных удобрений, особенно при несбалансированном сочетании с фосфорными и калийными удобрениями. Это связано с повышением кислотности почвы при их внесении, так как большинство азотных удобрений являются физиологически кислыми. Оптимальные дозы азотных удобрений рассчитываются с учетом потребности на планируемый урожай и корректируются по результатам почвенно-растительной диагностики. В любом случае дозы фосфора и калия должны преобладать над азотом.

Таблица 27 – Нормативы основной и дополнительной потребности в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами почвах, кг/га P_2O_5

Почва	P_2O_5 , мг/кг почвы	Основная потребность	Дополнительная потребность при плотности загрязнения, $\text{Ки}/\text{км}^2$		
			^{137}Cs 1,0–4,9 ^{90}Sr 0,15 – 0,29	^{137}Cs 5,0–14,9 ^{90}Sr 0,30 – 1,99	^{137}Cs 15,0–40,0 ^{90}Sr 2,0 – 3,0
Пашня					
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
	Более 250	-	-	-	-
Торфяно-болотные	Менее 200	60	20	40	60
	201 – 300	45	185	30	45
	301 – 500	30	10	20	30
	501 – 800	20	-	5	10
	Более 800	-	-	-	-
Сенокосы и пастбища					
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
	Более 250	-	-	-	-
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
	Более 800	-	-	-	-

Форма азотных удобрений зависит от биологических особенностей культур. Например, для картофеля и овощных лучшими являются сульфат аммония и мочевина. Они способствуют и меньшему накоплению нитратов. В Беларуси накоплен положительный опыт использования в зоне радиоактивного

загрязнения новых медленнодействующих форм карбамида и сульфата аммония с добавками гуматов и других биологически активных компонентов. Их применение позволяет снизить накопление в продукции ^{137}Cs в среднем на 20%, ^{90}Sr – на 12% при одновременном снижении содержания нитратов.

Микроудобрения. Влияние микроэлементов на переход радионуклидов из почвы в растения изучено слабо. Исходя из химических свойств, можно предположить, что медь будет препятствовать поступлению в растения ^{137}Cs , а цинк и кобальт – ^{90}Sr .

Рекомендации по использованию микроудобрений на загрязненных и чистых почвах практически одинаковы и направлены на достижение сбалансированного питания растений для получения высоких урожаев хорошего качества.

Микроудобрения используют только при недостаточном содержании их в почве: меди – менее 1,5 мг/кг, бора – менее 0,3, цинка – менее 3 мг/кг на минеральных почвах и соответственно менее 5, 1 и 9 мг/кг на торфяно-болотных почвах. Основной способ их применения – некорневые подкормки. Выбор микроудобрения осуществляется с учетом отзывчивости на них сельскохозяйственных культур.

Органические удобрения способствуют повышению плодородия почвы и снижению перехода радионуклидов из почвы в растение (в 1,5–2 раза). Особенно эффективно сочетание органических удобрений с известкованием кислых почв. Дозы органических удобрений рекомендуются те же, что и на незагрязненных радионуклидами почвах. Если органические удобрения ввозятся в хозяйство, необходимо контролировать содержание в них радионуклидов.

Навоз, компост, торф, осадки сточных вод и другие органические удобрения, полученные в местах с повышенной плотностью загрязнения радионуклидами, не должны применяться на полях с низким уровнем загрязнения и в овоще-картофельных севооборотах, так как их продукция идет непосредственно в пищу человеку. Лучше их использовать в севооборотах

кормового назначения, а еще лучше – на семенных участках, под технические культуры (сахарную свеклу, масличные, картофель для производства крахмала, спирта).

Торф можно использовать только низинный, хорошо разложившийся, высокозольный, с рН около 5,5. Его используют в дозах не менее 40 т/га, под овощные культуры – 100 т/га. Кислый верховой торф может повысить переход радионуклидов в растения. Его необходимо предварительно прокомпостировать с навозом, известью, золой или фосфоритной мукой.

Таким образом, внесение удобрений на загрязненных радиоактивными веществами почвах должно проводиться по сбалансированным схемам и с учетом специфики почвы. Если на плодородных суглинистых почвах применение практически всех видов удобрений, как правило, приводит к росту урожаев и вызывает снижение содержания радионуклидов в растительной продукции, то на легких по гранулометрическому составу, а также на слабо минерализованных гидроморфных почвах иногда можно ожидать увеличения поступления некоторых из них в растения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под системой применения удобрений?
2. Перечислите основные положения научной системы применения удобрений.
3. Назовите особенности системы удобрения в Нечерноземной зоне.
4. Охарактеризуйте особенности системы удобрения на мелиорированных землях.
5. Каковы особенности системы удобрения на эродированных землях?
6. Назовите особенности системы удобрения на загрязненных радионуклидами почвах.

3.5 ПРИЕМЫ, СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

По времени внесения и назначению приемы внесения удобрений делят на **основное** или допосевное (осенью или весной), **при посеве** (в рядки) и **подкормки** (послепосевное внесение).

Основное внесение (допосевное). Его назначение – обеспечение растения питанием на весь период развития, повышение плодородия почвы за счет обогащения ее питательными элементами и органическим веществом, улучшения физико-химических и физических свойств, усиления биологической активности. До посева вносят навоз, а также $2/3$ – $3/4$ и более суммарной годовой дозы минеральных удобрений.

Основное удобрение можно внести вразброс (на один год или в запас на два–три года), а также локально. На рисунке 23 приведена классификация способов внесения удобрений.

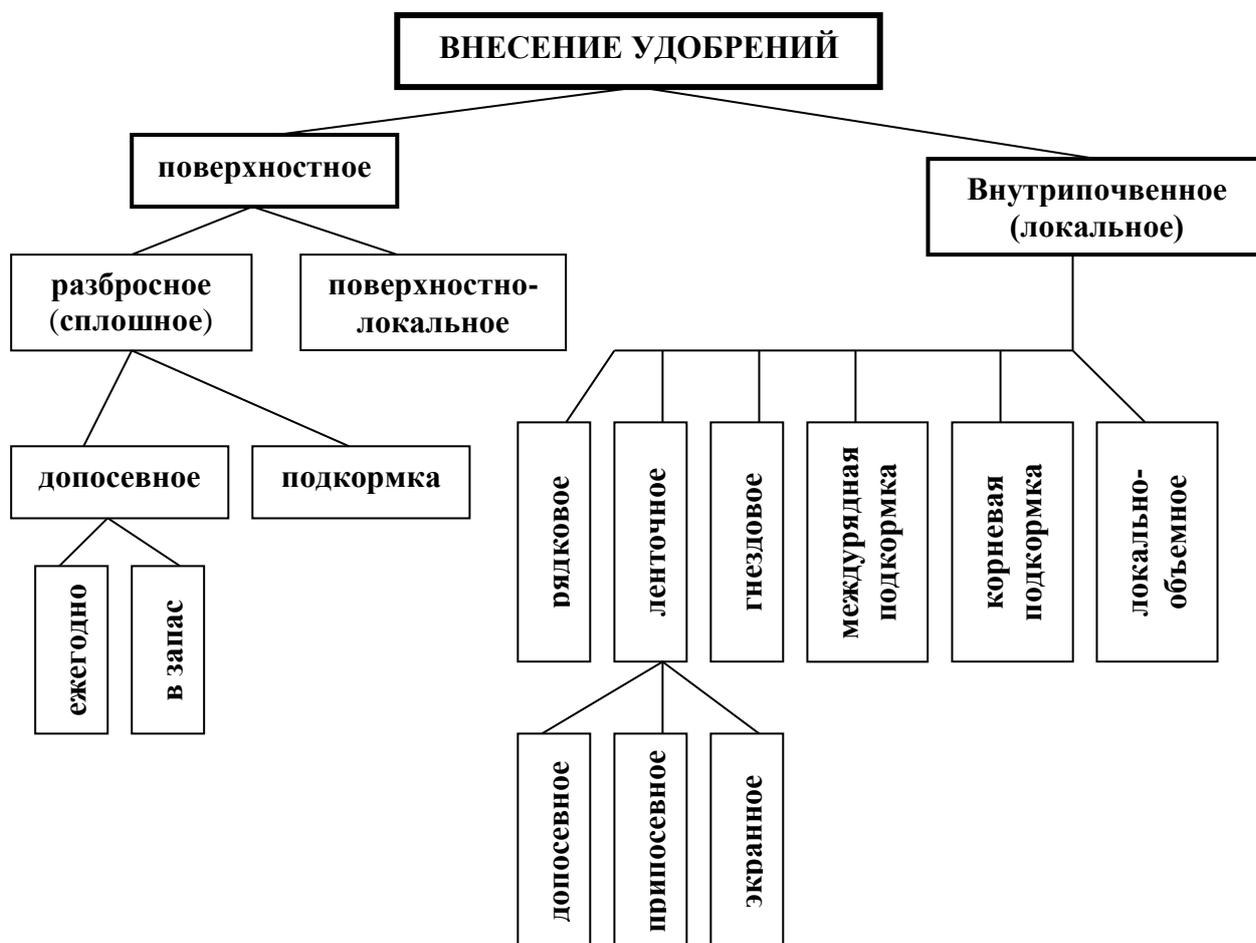


Рисунок 23 – Классификация способов внесения удобрений

Внесение вразброс предусматривает разбрасывание удобрений по поверхности почвы с последующей их заделкой. Это наиболее распространенный, но не самый экономичный способ.

Удобрения до посева могут быть внесены осенью и весной в зависимости от режима увлажнения почв:

– в районах умеренного увлажнения с непромывным типом водного режима на суглинистых почвах все удобрения, включая азотные, можно вносить осенью;

– в районах избыточного увлажнения с промывным типом водного режима азотные удобрения не рекомендуется вносить осенью, особенно содержащие нитратную форму;

– на легких почвах, особенно в районах избыточного увлажнения, все удобрения следует вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Для внесения минеральных удобрений используют разбрасыватели с устройством центробежного типа: 1РМГ-4, НРУ-0,5, МВУ-0,5, РТТ-4, РУМ-5, РУМ-8, РУМ-16, МХА-7, РМС-6, КСА-3. Новыми машинами по внесению минеральных удобрений являются: МТТ-4У, РУ-1600, РУ-3000, Л-116, машина компании SIPMA (рис. 24–26). К новым отечественным машинам по внесению жидких минеральных удобрений относится АПЖ-12 (рис. 27).



Рисунок 24 – Машина для внесения твердых минеральных удобрений МТТ-4У (грузоподъемность - 4 т агрегируется с трактором класса 1,4)



Рисунок 25 – Рассеиватель минеральных удобрений РУ-1600

(грузоподъемность 1,6 т, агрегируется с тракторами класса 0,9...1,4)



Рисунок 26 – Разбрасыватели минеральных удобрений N-049 и N-060 (двудисковые, объемом от 400 до 2000 кг, 172 предназначены для поверхностного внесения удобрений. Рабочая ширина разбрасывания – 10 – 28 м.



Рисунок 27 – Машина для внесения жидких минеральных удобрений АПЖ-12

(грузоподъемность 7 т, агрегируется с трактором класса 1,4)

Внесение органических удобрений осуществляют навозоразбрасывателями ПРТ-7А, МТТ-9 (рис. 28, 29). Жидкие органические удобрения вносят агрегатом МЖУ-20 (рис. 30).



Рисунок 28 – Машина для внесения твердых органических удобрений ПРТ –7А грузоподъемность - 9 т, агрегатируется с трактором класса 1,4



Рисунок 29 – Машина для внесения твердых органических удобрений МТТ-9
грузоподъемность - 9 т, агрегатируется с трактором класса 2,0



Рисунок 30 – Машина для внесения жидких органических удобрений МЖУ-20

Органические и фосфорно-калийные удобрения, как правило, вносят осенью под зяблевую вспашку в обеспеченный влагой слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней. Азотные удобрения до посева в зонах достаточного, избыточного увлажнения и при орошении, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, следует вносить весной под предпосевную обработку почвы. Это заметно снижает размеры вымывания нитратного азота. На почвах легкого гранулометрического состава, обладающих малой емкостью поглощения, вместе с азотными удобрениями целесообразно вносить калийные, а при выращивании пропашных культур

часть калийных удобрений можно использовать в подкормку при междурядной обработке почвы.

Недостатком разбросного применения удобрений является неравномерность распределения их по площади, которая по агротехническим требованиям при использовании разбрасывателей не должна превышать $\pm 25\%$ (табл. 28).

Таблица 28 – Агротехнические требования к внесению удобрений

Показатель		Значение
Диаметр комочков удобрений, мм		не более 5
Разрушение гранул, %		не более 5
Отклонение фактической дозы от заданной, %		± 10
Равномерность распределения по площади, %	при внесении туковыми сеялками	± 15
	при внесении разбрасывателями	± 25
Перекрытие смежных проходов агрегата, % от ширины захвата агрегата		6
Время между внесением и заделкой удобрений, час.		не более 12

В производственных условиях неравномерность внесения нередко достигает 60–80%, т.е. превышает допустимую в 2–3 раза, что приводит к снижению эффективности азотных удобрений на 45–50%, фосфорных – на 15–20, калийных и сложных – на 36–40%.

Заделка удобрений может осуществляться под плуг, а также под культивацию или с использованием других приспособлений, например, борон. От выбора способа заделки удобрений зависит размещение удобрений в почве (табл. 29).

При заделке удобрений бороной основная масса удобрений размещается в пересыхающем слое. Этот способ можно использовать при достаточном увлажнении, орошении, внесении легкорастворимых удобрений. При заделке плугом с предплужником основная масса удобрений попадает в глубокие слои и поздно усваивается растениями.

Таблица 29 – Расположение удобрений в почве при разных способах заделки
(% от внесенной дозы, по обобщенным данным)

Слой почвы, см	Заделка удобрений				
	легкой бороной	тяжелой бороной	тяжелым культиватором	плугом	плугом с предплужником
0–3	92	76	55	11	3
3–6	8	22	21	12	4
6–9	-	2	23	16	12
9–12	-	-	1	16	14
12–15	-	-	-	23	20
15–18	-	-	-	22	47

Разновидностью разбросного внесения основной дозы является внесение их *в запас*. Суть его заключается в том, что удобрения вносят не ежегодно (например, по 60 кг/га P_2O_5), а в один прием сразу на несколько лет (например, 240 кг/га P_2O_5 на четыре года). Для этих целей можно использовать фосфорные, иногда калийные удобрения.

Теоретической основой возможности запасного внесения фосфорных удобрений является их малая подвижность в почве, низкий коэффициент использования фосфора из удобрений и высокое последствие.

Калийные удобрения можно вносить в запас на тяжелых почвах, где практически отсутствует его вымывание. Однако разовое внесение высоких доз может способствовать повышению содержания калия в урожае трав (свыше 3,5% на сухое вещество) и отрицательно действовать на организм животных. Кроме того, высокие дозы хлорсодержащих калийных удобрений в первые годы после внесения могут снизить качество урожая.

Азотные удобрения в запас не вносят, так как они могут вызвать полегание посевов, усиление поражения растений вредителями и болезнями, ухудшение качества продукции вследствие накопления в ней нитратов, потери азота за счет вымывания и поверхностного стока.

Внесение удобрений в запас не получило широкого распространения по ряду причин, основной из которых является ограниченность ресурсов удобрений. Тем не менее, оно используется при выращивании многолетних

трав в полевых севооборотах, при коренном улучшении лугов и пастбищ, при проведении фосфоритования кислых почв, при комплексном агрохимическом окультуривании полей с целью увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах, снижения их кислотности.

Локальное внесение основной дозы удобрений является одним из наиболее рациональных способов, о чем свидетельствуют результаты научных исследований, зарубежная практика, отечественный производственный опыт.

Теоретической основой локализации удобрений является теория минерального питания растений и взаимодействия удобрений с почвой.

Локальный способ обеспечивает размещение удобрений в виде узких или широких лент, очагов или широкого экрана во влагообеспеченном слое почвы строго ориентированно относительно корневой системы растений или поверхности почвы. В результате в небольшом объеме почвы формируется очаг высокого содержания питательных элементов. Удобрения в меньшей мере, чем при разбросном способе внесения, контактируют с почвой, что обеспечивает более полное использование питательных веществ растениями, снижает степень закрепления их почвой и размеры потерь и способствует повышению урожайности.

Формирование в почве очагов с высоким содержанием питательных элементов приводит к усиленному ветвлению корней в зоне расположения ленты удобрений. Еще К.А. Тимирязев отмечал *«...замечательную особенность корня развиваться преимущественно в тех частях почвы, где он встречает больше питательных веществ»*. У растений раньше появляются и быстрее развиваются вторичные корни, что очень важно в засушливые годы, способствует более глубокому проникновению корней в почву.

Как правило, коэффициент использования питательных элементов растениями из удобрений, внесенных локально, выше, чем использованных вразброс, а фиксация фосфора почвой – ниже. Локальный способ внесения удобрений – наиболее экономичный: он позволяет при уменьшении доз

удобрений на 20–30% получать такие же урожаи, как от полных доз, внесенных вразброс. При одинаковых дозах удобрений локализация позволяет дополнительно получить 0,2–0,5 т/га зерновых колосовых, 2–5 – картофеля и корнеплодов, 2–4 – кормовых и силосных культур, 0,2–0,3 т/га – семян подсолнечника, сои (табл. 30). При локальном внесении удобрений лучше решаются и природоохранные вопросы. Локально можно внести основное, припосевное удобрение и подкормку.

Таблица 30 – Эффективность разбросного и локального внесения удобрений
(по данным разных авторов)

Культура	Почва	Число опытов	Урожайность без удобрений, т/га	Прибавка от удобрений (т/га) при внесении	
				вразброс	локально
Зерновые	Дерново-подзолистая суглинистая	18	1,7	1,1	1,7
Картофель	Дерново-подзолистая суглинистая	100	12,9	3,2	6,2
Кукуруза на зерно	Чернозем	3	2,8	0,4	0,5
Сахарная свекла	Чернозем	10	29,2	6,6	9,5
Сахарная свекла	Лугово-сероземная	4	34,5	10,0	16,0
Соя на зерно	Лугово-каштановая	3	2,5	0,4	0,6

При локальном внесении основной дозы удобрения размещаются на определенной глубине (от 8–10 до 12–15 см), ниже семян, в зоне развития корневой системы. Это гарантирует их более продолжительную позиционную доступность растениям.

Локальное внесение основной дозы удобрений можно осуществить *до посева*, совмещая с паровой или предпосевной обработкой почвы, и *при посеве*.

Сдерживающим фактором в применении локального способа внесения основной дозы удобрения является слабая обеспеченность соответствующей техникой.

Локальное допосевное внесение минеральных удобрений можно выполнять с помощью списанных зерновых сеялок СЗ-3,6. Они обеспечивают заделку удобрений на глубину 8 см при оптимальном интервале. Максимальная доза внесения при включении в работу одновременно зернового и тукового аппаратов составляет 1,4 т/га. Наиболее благоприятно протекает процесс поступления удобрений, если азотные и азотно-калийные удобрения загружать в зерновой ящик, а гранулированный суперфосфат – в туковый. Дисковые сошники при этом устанавливают на максимальную глубину хода. Перед внесением удобрений поле обрабатывают на глубину 10–12 см, а после посева (проведенного в поперечном направлении или под углом к расположенным лентам удобрений) – прикатывают.

Агрегаты для локального внесения удобрений и формирования поверхности гребня приведены на рисунках 31–33.



Рисунок 31 – Агрегат для локального внесения удобрений

(разработчик СЗНИИМЭСХ)

Агрегатируется с тракторами класса 1,4



**Рисунок 32 – Универсальная
комбинированная
почвообрабатывающая
машина-гребнеобразователь**



**Рисунок 33 – Разбрасыватель минеральных удобрений
KUNN**

Позволяет осуществлять локальное внесение основных доз удобрений (в 1 или 2 полосы, или в 7 рядков). Модели MDS, емкостью бункера от 500 до 1800 литров, с шириной захвата от 10 м до 24 м; модели AXIS (от 1000 до 3000 л) с шириной захвата от 12 м до 42 м.

При допосевном локальном внесении удобрений посев проводят под углом к направлению высева семян, а при припосевном – удобрения размещаются в каждом междурядье или через одно, а также сбоку или ниже семян (рис. 34).



Рисунок 34 – Схема расположения удобрений и растений при локальном внесении удобрений до посева и при посеве

В зарубежной практике чаще используют припосевное ленточное внесение основной дозы удобрений комбинированными посевными и посадочными машинами. Этот прием позволяет строго ориентировать ленты удобрений относительно рядков растений и располагать их на оптимальном расстоянии от семян.

Для локального внесения непригодны нерастворимые в воде удобрения (фосфоритная мука, преципитат, обесфторенный фосфат, фосфатшлаки). Комплексные удобрения имеют преимущество перед смесями простых удобрений из-за более равномерного распределения в почве.

Эффективность локального внесения удобрений зависит от глубины их заделки, ширины ленты, ориентации ее относительно рядков растений, интервалов между лентами.

Размещая удобрения на том или ином расстоянии от корневой системы, можно приблизить или отдалить сроки начала использования их растениями, что оказывает влияние на метаболические процессы. Этим объясняется изменение эффективности удобрений в зависимости от глубины заделки удобрений. Недопустимо не только чрезмерное удаление лент удобрений от семян, но и размещение их с большими интервалами, так как это приводит к снижению доступности питательных элементов, особенно фосфора, в начальные периоды роста и развития растений.

Увеличение интервалов между лентами при высоких дозах удобрений может неблагоприятно сказаться на растениях из-за повышения концентрации солей в почвенном растворе или недоступности для них удобрений, расположенных в середине интервала. Таким образом, удаление очага удобрений от семян как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении одинаково отрицательно не желательно.

Обобщение результатов Географической сети опытов в Нечерноземной зоне показало, что под зерновые культуры и лен оптимальной считается размещение лент удобрений на суглинистых почвах на глубине 7–10 см, на супесчаных и песчаных – на 10–12 см.

Под сахарную свеклу, кукурузу и кормовые корнеплоды удобрения следует располагать на глубине 10–15 см. Под картофель при высоких дозах оптимальным является размещение удобрений двумя лентами шириной 2–4 см по обе стороны и глубже клубней на 2–5 см или одной лентой шириной 5–10 см ниже клубней на 2–5 см.

Параметры ленточного внесения удобрений под зерновые и картофель приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Параметры ленточного внесения минеральных удобрений

Культуры	До посева			При посеве (посадке)		
	глубина размещения ленты, см	ширина ленты, см	интервал между центрами лент, см	глубина размещения ленты, см	ширина ленты, см	интервал между центрами лент, см
Зерновые	7–10	2–6	15–17	7–10	2–6	30 (через междурядье)
Картофель	на 2–5 см ниже клубней	5	25–30	на 2–5 см ниже клубней	5–10	лента под рядком клубней

Ленты удобрений не должны контактировать с семенами из-за опасности их повреждения высокой концентрацией солей. При внесении основной дозы удобрений при посеве они должны находиться на 3–5 см ниже семян и на 2–4 см в стороне от них.

Ленточное внесение удобрений одновременно с посевом (посадкой) является предпочтительным, так как обеспечивает фиксированное размещение удобрений относительно растений и равномерное их распределение по площади.

Установлено, что в засушливые годы наиболее сильно локализация удобрений проявляется на суглинистых и глинистых почвах, слабо – на супесчаных и еще слабее – на песчаных почвах.

Исследованиями кафедры агрохимии БГСХА показано, что эффективность ленточного внесения удобрений снижается с повышением уровня плодородия почвы, но даже на фоне высокого плодородия она остается достоверно выше, чем разбросного внесения.

Локализация удобрений требует более точного их дозирования, исключающего превышение оптимальной дозы, и соблюдения технологии внесения. Неравномерность распределения удобрений не должна превышать $\pm 10\%$. Нарушение технологии локального внесения удобрений снижает урожайность более существенно, чем при разбросном внесении.

Отечественный и зарубежный опыт с достаточной убедительностью показывают, что дозы удобрений при локализации можно сократить на 30–50% по сравнению с разбросным способом.

По снижению отзывчивости на локализацию удобрений сельскохозяйственные культуры располагаются в следующем порядке: картофель – корнеплоды – зерновые; среди зерновых: ячмень – озимая и яровая пшеница – овес – озимая рожь. Эффективность ленточного внесения зависит от сортовых особенностей сельскохозяйственных культур. Более требовательные к условиям питания сорта лучше отзываются на ленточное внесение удобрений, однако этот вопрос пока изучен недостаточно.

А.В. Петербургский (1975) отмечал: *«... в условиях еще недостаточной обеспеченности страны минеральными удобрениями задача состоит в том, чтобы каждый килограмм питательных веществ дал максимальный эффект. А это возможно только при локальном использовании удобрений».*

Припосевное (рядковое) внесение стартовой дозы удобрений – это всегда локальное внесение. Назначение припосевного удобрения – усилить минеральное питание молодых растений и за короткий промежуток времени обеспечить формирование хорошо развитой корневой системы. Наиболее важным в этот период является фосфор (табл. 32). Недостаток его в начальные фазы развития растений невозможно восполнить проведением подкормок, так как именно в это время идет закладка репродуктивных органов, а также из-за специфики поведения фосфорных удобрений в почве (отсутствие горизонтальной и вертикальной миграции).

Благодаря рядковому удобрению растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше поражаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность.

Таблица 32 – Питание фосфором и урожай ячменя, г/сосуд

Дни от посева		Солома	Зерно
Фосфор все время		26,1	6,4
Без фосфора	Первые 15 дней	4,5	0,0
	от 15 до 30 дня	25,4	6,7
	от 30 до 45 дня	28,0	5,7
	от 45 до 60 дня	26,6	6,6

Значительно меньшую роль в рядковом удобрении играет азот, а калий часто не дает эффекта (кроме калиелюбивых культур) и даже может несколько снизить урожай, особенно мелкосемянных культур.

Дозы припосевного удобрения небольшие – 5 до 30 кг/га в зависимости от культуры. Под зерновые, лен рекомендуется вносить 10–15 кг/га фосфора; под картофель и корнеплоды – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия; под кукурузу, культуру чувствительную к повышенной концентрации солей – 5–10 кг/га фосфора, а азот и калий – не вносят. Доза азота при рядковом внесении не должна быть выше, чем фосфора.

Невысокие дозы удобрений обусловлены тем, что, во-первых, они размещаются в верхнем, пересыхающем слое почвы, во-вторых, питание ими идет непродолжительно, так как корни растений быстро покидают зону их размещения, в-третьих, высокие концентрации солей в почве вредны для прорастающих семян. Последнее обстоятельство объясняет наилучший эффект от рядкового удобрения, когда между ним и семенами находится прослойка почвы. Это особенно важно, если в состав рядкового удобрения вместе с фосфором входит азот и калий.

Наиболее устойчивый эффект от рядкового удобрения отмечается на почвах невысокого плодородия. Прибавка урожаев от 10 кг/га фосфора составляет 2,5–3 ц/га в пересчете на зерно, оплата 1 ц суперфосфата урожаем колеблется от 0,4 до 0,58 т/га (табл. 33). По эффективности 10 кг/га фосфора, внесенного при посеве (в рядки), равноценно 45 кг, внесенным вразброс.

Таблица 33 – Эффективность рядкового удобрения в разных почвенно-климатических зонах (данные ВИУА)

Культуры	Почвы	Число опытов	Урожайность на контроле, т/га	Прибавка урожая, т/га	Оплата 1 ц суперфосфата прибавкой урожая зерна, т
Озимые зерновые	Дерново-подзолистые	52	2,05	0,34	0,58
	Черноземы, серые лесные и каштановые	117	2,22	0,28	0,56
Яровая пшеница	Дерново-подзолистые	29	1,62	0,30	0,60
	Черноземы, серые лесные и каштановые	60	1,58	0,20	0,40

Для внесения в рядки при посеве используют водорастворимые формы удобрений, содержащие, прежде всего, фосфор: гранулированный простой и двойной суперфосфаты и комплексные удобрения (аммофос, аммофосфат, нитрофоску, нитрофос, нитроаммофоску, нитроаммофос). На высокоплодородных почвах, а также при внесении высоких доз удобрений до

посева, эффективность рядкового удобрения невысокая или может вовсе не проявляться. Используют сеялки СЗ-3,6, СЗУ-3,6, СЗЛ-3,6, СЗП-3,6, СЗК-3,3. На кукурузных и свекловичных сеялках, выполняющих гнездовое и рядковое внесение минеральных удобрений, устанавливаются туковысевающие аппараты АТД-2 и АТ-2А. Картофелепосадочные машины СКС-4, СКМ-3, СКМ-6, СН-4Б и другие оборудованы аппаратами АТ-2А и АТД-2 для внесения удобрений в рядки (лентами).

Подкормка (послепосевное внесение удобрений) – прием, дополняющий основное удобрение. Целью подкормки является усиление питания растений в периоды интенсивного роста, повышение урожайности и улучшение качества продукции.

Эффективность подкормок в сильной степени зависит от влажности почвы в течение вегетации. На почвах тяжелого и среднего гранулометрического состава с залеганием грунтовых вод и галечника глубже 3 м, где мала вероятность вымывания питательных веществ, перенесение из основного удобрения в подкормку части азотных, не говоря уже о калийных и фосфорных удобрениях, не сопровождается повышением урожая. Но при этом повышаются расходы на их внесение.

В условиях дерново-подзолистых почв наиболее эффективна подкормка озимых зерновых рано весной. После перезимовки растения ослаблены, для продолжения роста и развития они нуждаются в питательных элементах, особенно азоте, запасы подвижных форм которого в почве рано весной обычно очень ограничены. Эта подкормка усиливает рост, кущение и закладку репродуктивных органов озимых, что обеспечивает получение высокого урожая и создает условия для формирования высококачественного зерна.

Подкормки бывают корневыми (поверхностными и внутрипочвенными) и некорневыми. Для корневых подкормок следует использовать азотные удобрения, а также богатые азотом органические удобрения (навозную жижу, птичий помет). Фосфорно-калийные удобрения чаще всего малоэффективны из-за мелкой заделки. Их следует вносить только на слабообеспеченных

подвижными формами фосфора и калия почвах, а также при недостаточном внесении до посева.

Хорошие результаты дают некорневые подкормки озимых и яровых зерновых культур растворами азотных удобрений (КАС, мочевины) с целью повышения содержания белка в зерне. Эта подкормка проводится в период колошения–цветения с использованием авиации или наземных опрыскивателей. Некорневая подкормка повышает эффективность удобрений, внесенных в почву. Дозы удобрений для внесения в подкормку определяют по результатам почвенной и растительной диагностики.

Ориентировочные дозы, используемые под озимые – 30–60 кг/га азота (но не более 80), под лен – 20–40, картофель – по 30–40 кг/га азота и калия, кукурузу – 40 кг/га азота, многолетние травы – 20–40 кг/га азота. Если до посева многолетних трав под покровную культуру было мало внесено удобрений, то рекомендуется после уборки покровной культуры подкормить травы фосфорными и калийными удобрениями (по 40–60 кг/га P_2O_5 и K_2O).

Подкормки озимых можно проводить рано весной при возобновлении вегетации (продолжение фазы кущения), в начале фазы выхода в трубку и летом в период колошения – цветения. Кукурузу подкармливают при первой междурядной обработке, сахарную свеклу – после прорывки, картофель – через две недели после появления всходов, лен – в фазу «елочки».

Во всех случаях подкормка – вынужденный прием и она оправдывает себя при следующих обстоятельствах:

- если до посева удобрения не применяли или их было внесено недостаточно;
- при подкормке озимых зерновых для улучшения их роста и повышения урожайности, особенно после неблагоприятной перезимовки, а также летом для повышения качества зерна;
- в условиях орошения при частых поливах и длительном периоде вегетации культур;

– при высоких дозах минеральных удобрений, когда разовое их внесение может сильно повысить концентрацию почвенного раствора и тем самым отрицательно отразиться на развитии растений;

– на почвах легкого гранулометрического состава в зонах достаточного и избыточного увлажнения;

– при подкормке для многолетних трав в полевых севооборотах, когда всю дозу фосфорно-калийных удобрений не удалось внести под покровную культуру;

– при внесении под плодово-ягодные культуры и травы на долголетних культурных пастбищах.

В зависимости от биологических особенностей культур, общей дозы удобрений и других условий, возможны различные комбинации приемов внесения удобрений. При высоких дозах целесообразно сочетание всех трех приемов их внесения – допосевного, припосевного (в рядки) и подкормки. При этом удобрения размещаются в разных слоях почвы, что создает хорошие условия для питания растений в течение всего вегетационного периода

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое приемы, сроки и способы внесения удобрений?
2. В чем состоит назначение основного, припосевного (рядкового) и послепосевного удобрения?
3. Назовите сроки основного внесения удобрений в разных почвенно-климатических условиях.
4. Как распределяются удобрения в пахотном слое почвы при разбросном внесении с заделкой разными агрегатами?
5. Что такое запасное внесение удобрений? В каких случаях оно используется?
6. Приведите примеры локального внесения удобрений. В чем заключаются его преимущества?
7. На каких культурах, с какой целью и при каких условиях применяют подкормки? Назовите сроки их проведения и рекомендуемые дозы.
8. В чем различия прикорневой и некорневой подкормок?
9. Какое удобрение чаще всего используют при проведении некорневой подкормки озимых?
10. Какая техника используется для внесения удобрений до посева, при посеве (в рядки) и в подкормку.
11. Перечислите агротехнические требования к внесению минеральных удобрений.

3.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ УДОБРЕНИЙ

Определение оптимальных доз удобрений является наиболее сложным и ответственным этапом разработки системы их применения. Дозы должны обеспечивать получение запланированных урожаев хорошего качества, повышение или сохранение на имеющемся высоком уровне плодородия почвы, не представлять опасности для окружающей среды и быть экономически эффективными.

При их определении учитывают величину планируемого урожая, вынос им питательных элементов, отзывчивость растений на удобрения, их чувствительность к концентрации солей, содержание в почве подвижных форм питательных элементов, предшествующие культуры, количество внесенных под них удобрений, агротехнику возделывания культур и другие условия. Расчет доз удобрений проводят после решения вопросов, связанных с проведением химической мелиорации (для Нечерноземной зоны – известкования и фосфоритования кислых почв), и определения ресурсов органических удобрений и их распределения по культурам.

Все имеющиеся методы расчета доз удобрений объединены в следующие группы:

– методы, основанные *на обобщении результатов полевых опытов* с поправкой на агрохимические свойства почв;

– *расчетные методы* – с использованием данных выноса питательных элементов урожаем, коэффициентов использования их из почвы (поправочных коэффициентов, нормативов баланса), коэффициентов использования из удобрений (коэффициентов распределения, коэффициентов возмещения выноса), нормативов затрат минеральных удобрений на единицу урожая или прибавки урожая;

– *математические методы с использованием ЭВМ* – на основе зависимостей в системе «почва–растение–удобрение», описываемых соответствующими производственными функциями:

$$Y = f(x_n),$$

где Y – урожай; x_n – влияющие на него факторы (дозы и соотношение удобрений, гранулометрический состав почвы, содержание в ней подвижных форм питательных элементов, погодные условия, сортовые особенности сельскохозяйственных культур, предшественники и др.).

– методы *целенаправленного регулирования плодородия почв* - используются при комплексном агрохимическом окультуривании почв.

Методы, основанные на обобщении результатов полевых опытов. В основу рекомендаций по дозам внесения удобрений под разные сельскохозяйственные культуры легло проведение полевых опытов по единой методике во всех почвенно-климатических зонах.

Обобщенные рекомендации выглядят в виде таблиц, в которых указаны дозы минеральных и органических удобрений, дифференцированные по культурам, типам почв, группам их обеспеченности питательными элементами, уровням планируемых урожаев. При отсутствии дифференциации доз по группам обеспеченности почвы (дозы даны для почв со средним содержанием питательных элементов) пользуются поправочными коэффициентами, изменяющимися в зависимости от фактического уровня содержания в почве питательных элементов. Так, при повышенном, высоком и очень высоком содержании питательных элементов в почве (данные агрохимических картограмм) поправочный коэффициент к рекомендуемым дозам меньше 1; низким и очень низким – больше 1; при среднем – равен 1. Этот метод прост и удобен в использовании.

На основе результатов полевых опытов определены также:

- выносы питательных элементов на единицу основной продукции с соответствующим количеством побочной;
- коэффициенты использования питательных элементов из почв и удобрений;
- коэффициенты возврата или интенсивности баланса элементов;

- поправочные коэффициенты к дозам в зависимости от содержания в почве питательных элементов;
- нормативы затрат минеральных удобрений для получения единицы урожая/прибавки урожая;
- оптимальные уровни содержания питательных элементов в почве для разных сельскохозяйственных культур;
- нормативы затрат удобрений, необходимых для изменения содержания в почве подвижных форм элементов питания на единицу;
- связь между продуктивностью культур, плодородием почвы, дозами удобрений, погодными, агротехническими и другими факторами, составляющих основу математических моделей продуктивности сельскохозяйственных культур;
- уровни природоохранных ограничений, связанные с применением удобрений.

При всей широте и удобстве использования этот метод имеет ряд недостатков:

- трудно установить дозы удобрений при планировании более высоких урожаев, чем приведены в рекомендациях;
- в рекомендациях чаще всего не указывается предшественник и ранее внесенные удобрения, что вносит неточность в определение оптимальных доз;
- эффективность рекомендуемых доз в производственных условиях, как правило, на 10–40% ниже, чем в условиях опыта, из-за разной точности учета урожая;
- не ясно, как будет изменяться плодородие почвы. Без специальных расчетов невозможно определить баланс питательных элементов.

Балансовые расчетные методы определения доз минеральных удобрений. Эти методы появились с развитием опытного дела и основаны на сравнении (балансе) потребности растений в питательных элементах и тем

количеством, которое может дать почва. Разница компенсируется за счет удобрений.

К достоинствам этой группы методов следует отнести возможность прямого учета плодородия почвы, особенностей предшественников, внесенных под них удобрений, качества органических и минеральных удобрений и других условий.

Эта группа методов имеет ряд модификаций.

Метод «элементарного баланса». Исходными показателями, используемыми в этом методе, являются: вынос питательных элементов единицей урожая (табл. 34); коэффициенты использования их из почв и разностные коэффициенты использования питательных элементов из удобрений.

Коэффициенты использования питательных элементов из почвы (КИП) показывают ту часть общего запаса их подвижных форм в почве, которую растения усваивают без внесения удобрений (табл. 35 и 36).

КИП (%) определяют по следующей формуле:

$$КИП = \frac{B_0}{Z} \times 100,$$

где B_0 – хозяйственный вынос питательного элемента урожаем без внесения удобрений, кг/га; Z – общий запас подвижных форм питательного элемента в почве, кг/га (для приближенных расчетов запас определяют перемножением содержания питательного элемента в почве в мг/кг на коэффициент Z); 100 – для выражения в процентах.

Коэффициент использования питательных элементов из удобрений (КИУ) показывает ту часть (от внесенной дозы), которая поступила в урожай.

В научных целях используют **изотопные** коэффициенты использования, полученные с помощью метода меченых атомов (изотопного метода) – $КИУ_{из}$:

$$КИУ_{из} = \frac{B_{из}}{D_{из}} \times 100 ,$$

где $B_{из}$ – вынос изотопа (метки) урожаем, мг/м² или мг/сосуд; $D_{из}$ – доза внесенной с удобрением метки, мг/м² или мг/сосуд; 100 – для выражения в процентах.

Таблица 34 – Вынос азота, фосфора и калия 1 т урожая различных культур с учетом побочной продукции (для Нечерноземной зоны России)

Культура	Основная продукция	Вынос 1 т основной продукции с учетом побочной, кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Пшеница озимая	зерно	35	10	24	6.3	6.5
Пшеница яровая	зерно	27	11	22	5.6	7.8
Рожь озимая	зерно	24	10	29	8.8	6.0
Овес	зерно	31	10	27	9.7	7.2
Ячмень	зерно	26	10	26	7.7	6.3
Гречиха	зерно	30	15	40	18.0	8.5
Горчица белая	семена	57	20	23		
Горох	зерно	66	16	20		
Рапс озимый	семена	49	23	30		
Лен долгунец	семена	106	53	93		
	соломка	14	6	12	17.1	16.4
	волокно	80	26	95		
Сахарная свекла	корнеплоды	5.9	1.8	7.5		
Картофель	клубни	5	1.5	7	0.5	1.5
Кормовые корнеплоды	корнеплоды	5	1.5	7	0.5	1.0
Кукуруза на силос	надз. масса	2.5	1.5	5.0		
Подсолнечник на силос	надз. масса	3.0	1.0	5.0		
Горох	надз. масса	6.5	1.5	5.2		
Люпин	сухая масса	29	5	17		
Горохоовсяная смесь (однолетние травы)	надз. масса	2	1	4		
Клевер	сено	19.7	5.6	15.0	42.2	19.0
Клевер + тимopheевка	сено	17.6	6.0	17.5	27.0	12.5
Вика	сено	22.7	6.2	10.0		
Естественные сенокосы	сено	17.0	7.0	18.0	7.2	5.0
Капуста белокочанная	кочаны	3.3	1.3	4.4		
Капуста цветная	соцветия	9.5	3.3	12.5		
Морковь столовая	корнеплоды	5.2	1.9	6.0		
Свекла столовая	корнеплоды	5.0	1.7	6.3		
Огурец (открытый грунт)	плоды	3.6	1.6	4.5		
Томат	плоды	3.5	1.2	5.0		
Лук на репку	репка	3.0	1.1	3.2		
Лук на перо	перо	3.1	0.9	1.8		
Редис	корнеплоды	3.4	0.9	4.0		

На практике чаще пользуются *разностными* КИУ (табл. 37). Их определяют на основе результатов полевых опытов как процентное отношение разницы хозяйственных выносов элементов в удобренном и контрольном вариантах к дозе внесенного удобрения. Расчет ведут по формуле:

$$КИУ = \frac{B_y - B_0}{D} \times 100,$$

где B_y и B_0 – соответственно вынос питательного элемента в удобренном и контрольном вариантах, кг/га; D – доза питательного элемента, кг/га; 100 – для выражения в процентах.

Таблица 35 – Коэффициенты использования подвижных форм фосфора из пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв, %
(по Л.П. Детковской)

Содержание в почве, P_2O_5 , мг/кг	pНсол. 4,5–5,5			pНсол. более 5,5		
	зерновые	картофель корне- плоды, кукуруза	лен	зерновые	картофель корне- плоды, кукуруза	лен
Менее 60	10-12	11-14	9-11	12-15	16-20	10-13
61-100	7-9	9-10	6-8	10-12	12-15	9-10
101-150	6-7	7-9	4-6	8-9	9-11	7-8
151-250	4-5	5-6	3-4	6-7	7-8	4-6
Более 250	3-4	4-5	2-3	4-5	5-7	3-5

Примечания: 1 – на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах использование растениями фосфора на 1–2% выше по сравнению с суглинистыми;

2 – на торфяных почвах пропашные культуры используют 20-30%, зерновые – 15–25% запасов подвижных фосфатов пахотного слоя.

Таблица 36 – Коэффициенты использования растениями подвижных форм калия из пахотного слоя дерново-подзолистых почв, %
(по Л.П. Детковской)

Содержание в почве K_2O , мг/кг	Суглинистые почвы				Супесчаные и песчаные почвы			
	яровые зерновые	озимые зерновые	картофель, корне- плоды, кукуруза	лен	яровые зерновые	озимые зерновые	картофель, корне- плоды, кукуруза	лен
Менее 80	18-20	22-27	25-30	15-17	19-22	25-30	27-32	16-18
81-140	15-17	18-20	20-25	12-14	16-18	20-22	22-26	13-15
141-200	10-12	13-15	16-18	7-9	11-14	16-18	17-19	8-10
201-300	6-9	7-10	11-13	4-7	8-10	9-11	12-14	5-8
Более 300	3-5	4-6	6-8	2-3	4-6	5-7	7-9	3-4

Примечание: На торфяных почвах пропашные культуры используют 45-55%, а зерновые - 40-50% запасов подвижного калия пахотного слоя почвы

Таблица 37 – Средние коэффициенты использования растениями питательных элементов из удобрений и пожнивно-корневых остатков

Год действия	Органические			Минеральные			Пожнивно-корневые остатки бобовых трав
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	20–25	25–30	50–60	60–70	15–20	50–60	20–25
2	20	10–15	10–15	–	10–15	20	15–20
3	10	5	–	–	5	–	5–10
За ротацию	50–55	40–50	60–75	60–70	30–50	70–80	45–55

При переходе от бедных к более плодородным и окультуренным почвам, а также с увеличением доз вносимых удобрений на любых типах почв разностные КИУ уменьшаются. В целом КИУ подвержены значительным колебаниям.

Еще больше изменяются КИП даже одними и теми же культурами и на одной и той же по степени обеспеченности питательными элементами почве. Например, в исследованиях Л.М. Державина (1992) варьирование КИП фосфора и калия для озимой пшеницы составили 55–63%, сахарной свеклы – 41–71, льна-долгунца – 64–76%. Особенно сильно КИП колеблются под влиянием погодных условий (до 10–15 раз).

Дозы минеральных удобрений (D , кг/га) в методе «элементарного баланса» определяют по формуле:

$$D = \frac{100 \times U \times B - П \times КИП - O \times КИУ_o}{КИУ},$$

где U – планируемая урожайность, т/га; B – вынос питательных элементов 1 т продукции с учетом побочной, кг; $П$ – содержание питательных элементов в пахотном слое почвы, кг/га; $КИП$ и $КИУ$ – коэффициенты использования питательных элементов соответственно из почвы и удобрений (в 1-й год), %; O и $КИУ_o$ – содержание питательных элементов в дозе органического удобрения (кг) и коэффициент использования их в год внесения, %

При наличии дополнительных источников питания растений (азот пожнивно-корневых остатков бобовых трав, последствие удобрений, внесенных под предшественник и др.) в расчете их учитывают посредством вычитания из потребности питательных элементов ($U \times B$) для создания урожая.

ПРИМЕР: почва дерново-подзолистая легкосуглинистая; содержание подвижного фосфора – 120 мг/кг (360 кг/га); выращивается озимая пшеница; планируемая урожайность – 4 т/га. Вынос фосфора 1 т урожая пшеницы составляет 11 кг. Под предшественник (горохоовсяная смесь) было внесено 30 т/га навоза, который содержит 0,2% фосфора (с дозой 45 т/га внесено 90 кг/га P_2O_5 : $\frac{45 \times 1000 \times 0,2}{100} = 90$). Определить дозу фосфора на запланированный урожай пшеницы.

Решение. Из таблицы 34 следует, что коэффициент использования фосфора при заданном содержании его в почве – 6%, коэффициенты использования фосфора из органических удобрений во второй год действия (пшеница выращивается на второй год после его внесения) – 10%, из минеральных удобрений в год внесения (первый год действия) – 15% (таблица 37). Отсюда доза фосфора (Д) равна:

$$D = \frac{100 \times 4 \times 11 - 360 \times 6 - 90 \times 10}{15} = 89,4 \text{ кг/га (округленно 90 кг/га)}$$

Этот метод имеет ряд недостатков, среди которых наиболее существенными являются:

– широкая вариабельность нормативов выноса питательных элементов в расчете на единицу урожая, а также коэффициентов использования питательных веществ из удобрений и, особенно, из почвы, в связи с чем следует пользоваться данными, рекомендуемыми для конкретных почвенно-климатических условий;

– учитывается поступление питательных элементов только из пахотного слоя почвы, тогда как растения поглощают их и из подпахотных горизонтов;

– ввиду отсутствия в большинстве случаев информации о содержании в почве минерального азота, расчет доз азотных удобрений проводится приближенно (через содержание его в возможном урожае, обеспечиваемом запасами подвижных форм фосфора и калия в почве);

– для ответа на вопрос «как изменится плодородие почвы?» необходимы дополнительные расчеты баланса питательных элементов.

Метод расчета доз удобрений на запланированную прибавку урожая.

В этом методе используются вынос питательных элементов единицей урожая, разностные коэффициенты использования питательных элементов из удобрений и поправочные коэффициенты к их дозам, дифференцированные в

зависимости от содержания в почве подвижных форм питательных элементов (табл. 38).

Таблица 38 – Поправочные коэффициенты к дозам удобрений с учетом содержания подвижных форм фосфора и калия в почве

Содержание в почве	Зерновые, травы, лен, пропашные	Овощные культуры
P_2O_5	Азотные удобрения	
Очень низкое	1.2	-
Низкое	1.1	1.2
Среднее	1.0	1.1
Повышенное	0.9	1.0
Высокое	0.8	0.9
Очень высокое	0.7	0.8
P_2O_5 и K_2O	Фосфорные и калийные удобрения	
Очень низкое	1.5	-
Низкое	1.2–1.3	1.5
Среднее	1.0	1.2–1.3
Повышенное	0.7–0.8	1.0
Высокое	0.4–0.6	0.7–0.8
Очень высокое	0.1–0.3	0.4–0.6

Использование поправочных коэффициентов принципиально отличает механизм учета плодородия почвы в этом методе расчета от метода «элементарного» баланса. Эти коэффициенты изменяются в зависимости от разных факторов меньше, чем КИП.

Особенностью данного метода является необходимость информации о возможном урожае без удобрений. Его можно определить по данным опытов в конкретных условиях, воспользоваться информацией соответствующих региональных НИИ, опытных станций, станций Агрохимической службы или определить по элементу, находящемуся в почве в минимуме с помощью КИП.

В общем виде формула для определения доз удобрений этим методом имеет вид:

$$D = \frac{100 \times Y_n \times B - O \times KIU_o}{KIU}$$

где Y_n – планируемая прибавка урожая, т/га; B – вынос питательных элементов в расчете на 1 т основной продукции с учетом побочной, кг; O и KIU_o – соответственно количество питательного элемента в дозе органического удобрения (кг) и его коэффициент использования в год действия, %; KIU – коэффициент использования питательных элементов из минеральных удобрений (в 1-й год), %.

Этот метод в целом имеет те же недостатки, что и метод «элементарного баланса».

Метод «нормативного баланса». В нем используются следующие показатели: нормативы выноса питательных элементов единицей урожая, нормативы интенсивности баланса, дифференцированные в зависимости от плодородия почвы (табл. 39), коэффициенты распределения действия удобрений по годам (табл. 40), которые являются производными от разностных КИУ. Этот метод позволяет целенаправленно регулировать обеспеченность почвы питательными элементами и не требует дополнительных расчетов их баланса, так как интенсивность баланса заложена в расчет.

Специфика учета плодородия почвы в этом методе расчета состоит в установлении нормативов интенсивности баланса, которые различаются в зависимости от обеспеченности почвы питательными элементами.

Расчеты доз удобрений для получения планового урожая ведут по следующей формуле:

$$D = \frac{100 \times Y \times B \times ИБ - O \times Kp_o}{Kp},$$

где Y – планируемая урожайность, т/га; B – вынос питательных элементов 1 т основной продукции с учетом побочной, кг; $ИБ$ – норматив интенсивности баланса питательных элементов, %; O и Kp_o – соответственно количество питательного элемента в дозе органического удобрения (кг) и коэффициент распределения его в год действия, %; Kp – коэффициент распределения действия минеральных удобрений (на 1 год), %.

При наличии дополнительных источников питания растений их учет осуществляется путем вычитания из полученной в числителе величины соответствующих значений.

Таблица 39 – Примерные нормативы интенсивности баланса питательных элементов за ротацию севооборота (% к выносу) в зависимости от содержания элементов питания в дерново-подзолистых почвах

Группа обеспеченности почвы	Нормативы интенсивности баланса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-2	120–130	200–250	130–150
3	120–130	170–200	110–130
4	110–120	140–170	80–100
5	100–110	100–140	60–80
6	80–100	70–100	40–60

Примечание: по азоту к первому классу относятся дерново-подзолистые почвы с содержанием гумуса менее 2%, ко второму – 2,0–2,8, к третьему – 2,8–4,4%.

Таблица 40 – Коэффициенты распределения питательных элементов удобрений и азота пожнивно-корневых остатков бобовых трав, %

Год действия	Органические удобрения			Минеральные удобрения			Азот пожнивно-корневых остатков
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	40	65	80	100	55	70	50
2	40	25	20	0	30	30	30
3	20	10	0	0	15	0	20
За ротацию	100	100	100	100	100	100	100

ПРИМЕР: почва дерново-подзолистая легкосуглинистая; содержание подвижного фосфора – 120 мг/кг; выращивается озимая пшеница, планируемая урожайность – 4 т/га. Вынос фосфора 1 т урожая пшеницы составляет 11 кг. Под предшественник (горохоовсяная смесь) было внесено 45 т/га навоза, который содержит 0,2% фосфора (с дозой 40 т/га внесено 90 кг/га фосфора: $\frac{45 \times 1000 \times 0,2}{100} = 90$). Определить дозу фосфора на запланированный урожай пшеницы.

Решение. Из таблицы 38 следует, что при указанном содержании фосфора в почве (4-я группа) норматив интенсивности баланса может быть 140–170% к выносу (примем 160%). Так как навоз был внесен под предшественник, а пшеница использует его второй год, то коэффициент распределения действия фосфора на этот год, согласно табл. 39, составляет 25%; коэффициент распределения действия фосфорных минеральных удобрений на первый год – 55%. Отсюда доза фосфора (Д):

$$D = \frac{4 \times 11 \times 160 - 90 \times 25}{55} = 87 \text{ кг/га (округленно 85 кг/га)}$$

Недостатком этого метода расчета является изменчивость нормативов выноса питательных элементов единицей урожая и коэффициентов

распределения действия удобрений по годам. Вместе с тем этот метод позволяет контролировать баланс питательных элементов в почве и, следовательно, с природоохранных позиций более надежен.

Метод расчета с применением балансовых коэффициентов использования удобрений, дифференцированных по плодородию почвы (табл. 41 и 42). Особенность балансовых коэффициентов состоит в том, что в выносе V_y учитываются питательные элементы, поступившие в растения, как из почвы, так и из удобрений.

Таблица 41 – Балансовые коэффициенты использования минеральных удобрений на почвах Нечерноземья в зависимости от их плодородия, % (Ю.П. Жуков, 1983)

Класс почвы (плодородие)	N	$\frac{P_2O_5}{K_2O}$					
		1-й год*	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	Всего
1	70–75		$\frac{30-40}{60-70}$	$\frac{30-25}{10-15}$	$\frac{5-10}{10-5}$	-	$\frac{65-75}{80-90}$
2	70–75		$\frac{35-45}{65-75}$	$\frac{30-25}{10-15}$	$\frac{5-10}{10-5}$	-	$\frac{70-80}{85-95}$
3	75–80		$\frac{35-45}{70-75}$	$\frac{30-25}{10-20}$	$\frac{10-5}{10-5}$	-	$\frac{75-85}{90-100}$
4	75–80		$\frac{40-50}{70-75}$	$\frac{30-25}{25-15}$	$\frac{10-15}{5-10}$	$\frac{0-5}{0-10}$	$\frac{85-95}{100-110}$
5	85–90		$\frac{45-55}{75-80}$	$\frac{35-25}{30-20}$	$\frac{10-15}{10-15}$	$\frac{5-10}{5-10}$	$\frac{95-105}{120-130}$
6	90–95		$\frac{50-60}{80-85}$	$\frac{40-30}{35-25}$	$\frac{20-15}{15-20}$	$\frac{10-5}{10-15}$	$\frac{110-120}{140-150}$

* азотные удобрения практически не имеют последействия

Так же, как и при использовании предыдущего метода, этот метод позволяет контролировать баланс питательных элементов в почве и целенаправленно его регулировать, так как балансовые коэффициенты дают представление как о степени усвоения культурами питательных элементов из удобрений и почвы, так и о возможном изменении обеспеченности ими почв.

Балансовые коэффициенты были предложены проф. Ю.П. Жуковым. Они всегда выше разностных и в отличие от них на плодородных почвах выше, чем на бедных. Определяются как частное от деления выноса соответствующего

питательного элемента урожаем в удобренном варианте на дозу этого элемента, внесенного с удобрением:

$$K_{\sigma} = \frac{B_y}{D} \times 100,$$

где B_y – хозяйственный вынос питательного элемента культурой в удобренном варианте, кг/га; D – доза удобрения, кг/га д. в.

Таблица 42 – Балансовые коэффициенты использования органических удобрений на почвах Нечерноземья в зависимости от их плодородия, %
(Ю.П. Жуков, 1983)

Класс почвы (плодородие)	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	Всего
N					
1	30–40	25–15	5–15	-	60–70
2	30–40	30–20	10–20	-	70–80
3	35–45	30–20	10–20	5	80–90
4	35–45	30–20	10–20	5–10	90–100
5	35–45	40–30	15–25	10–15	100–115
6	35–45	40–30	20–30	15–20	110–125
$\frac{P_2O_5}{K_2O}$					
1	<u>35–45</u> 60–70	<u>30–25</u> 10–15	<u>5–10</u> 10–5	-	<u>70–80</u> 80–90
2	<u>35–45</u> 65–75	<u>35–25</u> 10–15	<u>5–15</u> 10–5	-	<u>75–85</u> 85–95
3	<u>40–50</u> 70–75	<u>35–25</u> 10–20	<u>5–15</u> 10–5	-	<u>80–90</u> 90–110
4	<u>40–50</u> 70–75	<u>35–25</u> 25–15	<u>10–15</u> 10–15	<u>5–10</u> 5–10	<u>90–110</u> 105–115
5	<u>45–55</u> 75–80	<u>35–25</u> 30–20	<u>10–15</u> 10–15	<u>10–15</u> 5–15	<u>100–110</u> 120–130
6	<u>50–60</u> 80–85	<u>40–30</u> 35–25	<u>15–20</u> 15–20	<u>10–15</u> 10–20	<u>115–125</u> 140–150

Расчет доз удобрений на плановый урожай ведут по формуле:

$$D = \frac{100 \times Y \times B - O \times K_{\sigma_o}}{K_{\sigma}},$$

где Y – планируемая урожайность, т/га; B – вынос питательных элементов 1 т основной продукции с учетом побочной, кг; O и K_{σ_o} – соответственно содержание питательного элемента в органическом удобрении (кг) и его балансовый коэффициент использования в год действия, %. K_{σ} – балансовый коэффициент использования питательных элементов из минеральных удобрений (в 1-й год), %.

При наличии дополнительных источников питания растений (последствие органических и минеральных удобрений и др.) их учет осуществляется так же, как в методе «элементарного баланса», но с использованием не разностных, а балансовых коэффициентов использования питательных элементов из удобрений.

ПРИМЕР: Используя приведенное выше условие, и пользуясь данными таблиц 40 и 41 устанавливаем, что балансовый коэффициент использования фосфора из минеральных удобрений (1-й год) при повышенном содержании фосфора в почве равен 40–50%, а из органических удобрений (по условию задачи они действуют 2-й год, так как были внесены под предшественник) – 35–25%. Для примера, принимаем средние значения – 45 и 30%, соответственно. Тогда расчет будет выглядеть следующим образом:

$$D = \frac{100 \times 4 \times 11 - 90 \times 30}{45} = 37,8 \text{ кг/га (округленно – 40 кг/га)}$$

Расчет доз удобрений по нормативам затрат на создание единицы урожая или прибавки урожая. Нормативы затрат удобрений устанавливают на основе полевых опытов с удобрениями в разных почвенно-климатических зонах. Для почв Центрального района Нечерноземной зоны они приведены в таблице 43. Поправочные коэффициенты к дозам удобрений в зависимости от агрохимических свойств почвы приведены в таблице 44.

Дозы минеральных удобрений определяют по следующей формуле:

$$D = УНК,$$

где $У$ - планируемая урожайность (прибавка урожайности за счет удобрений), т/га, $Н$ - нормативы затрат удобрений на единицу урожая (прибавки урожая), кг/т; $К$ - поправочный коэффициент на содержание в почвах подвижных форм фосфора и калия.

Этот метод расчета используют для определения доз удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии, которая не осуществляется на почвах с низким плодородием, поэтому в таблице отсутствуют поправочные коэффициенты для таких почв. При расчетах доз азотных удобрений поправочный коэффициент равен единице.

Таблица 43 – Нормативы затрат минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур в Центральном районе Нечерноземной зоны, кг д. в. (ЦИНАО)

Культура	На 1 т урожая			На 1 т прибавки урожая		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерновые	37	35	29	104	97	81
Озимая пшеница	39	36	28	105	98	77
Озимая рожь	47	47	39	132	132	110
Ячмень	32	28	24	100	85	72
Овес	38	37	30	94	92	74
Гречиха	37	46	23	155	196	96
Горох	17	26	26	80	119	119
Вика с овсом	20	45	37	90	207	169
Лен долгунец (волокно)	64	145	147	167	375	379
Сахарная свекла	8.6	6.8	7.8	18.3	14.4	16.7
Картофель без орошения	5.3	5.2	5.9	14.1	14.0	15.9
Картофель при орошении	3.5	3.8	4.2	9.7	10.6	11.8
Овощи	2.6	1.4	2.5	7.4	4.0	7.4
Капуста	2.2	1.2	2.6	6.9	3.8	8.0
Столовая свекла	2.0	1.3	3.5	7.2	4.6	12.6
Морковь	2.1	1.5	2.2	7.4	5.1	7.5
Лук	2.6	3.5	6.1	9.6	12.8	22.4
Кормовые на пашне (корм.ед.)	15.3	12.1	17.7	32.0	25.3	36.9
Кукуруза на силос	2.8	1.4	2.9	6.2	3.1	6.5
Кормовые корнеплоды	2.8	1.5	3.6	4.6	2.5	6.1
Однолетние травы (сено)	10	17	16	22	36	34
Многолетние травы (сено)	11.3	9.6	12.6	23	20	26
Сенокосы улучшенные (сено)	18.1	7.8	12.0	28	12	18

Таблица 44 – Поправочные коэффициенты к дозам удобрений в зависимости от плодородия почвы (ЦИНАО)

Содержание подвижных форм питательных веществ	P ₂ O ₅	K ₂ O
Среднее	1,0	1,0
Повышенное	0,7	0,8
Высокое	0,5	0,6
Очень высокое	0,3	0,3

В заключение следует подчеркнуть, что при всем многообразии методов расчета доз удобрений безукоризненных нет. В связи с этим, следует пользоваться теми нормативными данными, которые рекомендованы для конкретных условий. Это позволит максимально снизить риск появления ошибок в расчетах.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое коэффициент использования питательных элементов из почвы и как его можно определить?
2. Что такое коэффициент использования питательных элементов из удобрений, и какие методы их определения вы знаете?
3. Приведите классификацию методов определения доз минеральных удобрений.
4. Назовите достоинства и недостатки метода определения доз удобрений, основанного на результатах полевых опытов с поправкой на плодородие почвы.
5. Перечислите балансовые расчетные методы определения доз минеральных удобрений.
6. Как учитывается плодородие почвы в методе «элементарного баланса», при расчете доз удобрений на плановую прибавку урожая, в методе «нормативного баланса» и при использовании нормативов затрат удобрений на получение единицы урожая или его прибавки?
7. Назовите недостатки метода «элементарного баланса», «нормативного баланса», расчета на прибавку урожая.

3.7 УДОБРЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР



3.7.1 ОЗИМЫЕ ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

Озимыми зерновыми культурами являются пшеница, рожь, тритикале и ячмень.

Озимый ячмень возделывается в основном как зернофуражная и крупяная культура. В его зерне содержится 10–12 белка, что обуславливает его высокую ценность в пивоваренной промышленности. Его выращивают в районах с мягкими зимами из-за низкой зимостойкости. Для него опасны морозы ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже) и бесснежные зимы. Это сравнительно засухоустойчивая культура.

Для озимого ячменя почва должна быть плодородной с реакцией в пределах $\text{pH}_{\text{КСИ}} = 6\text{--}7,5$. Лучшие почвы – черноземы. Плохими для ячменя являются песчаные, супесчаные, тяжелосуглинистые и глинистые по гранулометрическому составу почвы. На формирование 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции озимый ячмень выносит 32–36 кг азота, 11–12 кг фосфора и 20–24 кг калия.

Это отзывчивая на удобрение культура, технология его выращивания имеет много общего с технологией выращивания озимой пшеницы. Созревает он дружно, раньше озимой пшеницы и озимой ржи.

Озимая рожь – более устойчивая к неблагоприятным условиям культура, чем озимая пшеница. Это важнейшая продовольственная и кормовая культура. Рожь менее требовательна к почве и климатическим условиям, чем другие зерновые культуры, она обладает высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью.

По сравнению с озимой пшеницей и ячменем озимая рожь имеет более мощную и хорошо разветвленную корневую систему, что позволяет легче переносить кратковременный дефицит воды в почве. Корни способны

усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений, что позволяет растениям произрастать на малопродуктивных почвах (кроме новых сортов интенсивного типа тетраплоидной ржи). Рожь лучше других зерновых культур переносит почвы с повышенной кислотностью. Ее урожайность на кислых почвах ($pH_{КСИ}$ 4,5-5,0) не снижается так значительно, как пшеницы или ячменя, но наиболее высокая продуктивность озимой ржи отмечается при $pH_{КСИ}$ 5,8–6,2.

Лучшими для возделывания озимой ржи являются окультуренные легкосуглинистые и супесчаные почвы. В отличие от озимой пшеницы и озимого ячменя озимая рожь усиленно кустится осенью и раньше возобновляет вегетацию весной. При хорошем развитии в осенний период от появления всходов до прекращения вегетации осенью посе́вы ржи потребляют примерно 30-35% всего азота и 22-27% фосфора и калия. Остальная часть элементов питания поступает после возобновления вегетации весной и летом. Азот и калий рожь потребляет до цветения, а фосфор — до молочной спелости зерна, однако основное количество питательных веществ рожь, как и другие зерновые, потребляет до колошения. В расчете на 1 т зерна и соответствующего количества побочной продукции озимая рожь выносит 28-30 кг N, 12-14 кг P_2O_5 и 27-32 кг K_2O . Она хорошо отзывается на внесение удобрений. Среди элементов питания определяющее значение для получения высоких урожаев зерна имеет достаточная обеспеченность растений азотом в периоды наибольшего потребления. Для озимой ржи характерны два периода интенсивного потребления азота: осеннее кущение растений и весеннее возобновление вегетации.

Озимая пшеница, как правило, возделывается на более плодородных и окультуренных почвах, чем озимая рожь. Это связано с ее биологическими особенностями: она имеет менее развитую корневую систему, более слабую усваивающую способность корней и высокую чувствительность к кислотности почв. При возделывании пшеницы на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны в ее зерне содержится на 3% больше

белка, чем у тех же сортов, выращенных на плохо окультуренных почвах в аналогичных погодных условиях (Авдонин, 1972). Содержание белка в зерне пшеницы зависит, главным образом, от климатических условий ее выращивания и повышается с севера на юг и с запада на восток европейской части страны, но может изменяться и под действием удобрений.

Озимая пшеница в отличие от озимой ржи сильнее кустится весной, пшеница менее способна усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений, хуже переносит низкие температуры и засуху, чем рожь.

В расчете на 1 т урожая зерна с соответствующим количеством соломы озимая пшеница выносит 32–37 кг азота, 10–12 – фосфора и 22–26 кг калия, у озимой ржи вынос азота заметно ниже, а калия – выше, чем у пшеницы.

При выращивании озимых зерновых, особенно озимой пшеницы, необходимо известкование кислых почв. Оптимальная реакция среды для озимой пшеницы рН 6–7,5, для озимой ржи – 5,0–6,0. На фоне полного минерального удобрения внесение извести на дерново-подзолистых суглинистых почвах повышает урожайность зерна пшеницы не менее чем на 0,4 т/га, озимой ржи – в среднем на 0,3 т/га. При известковании кислых почв улучшается питание растений почвенными фосфатами, в связи с чем прибавка урожая от внесения фосфорных удобрений снижается.

Ценной зерно-кормовой культурой является *озимая тритикале*, которая может стать одной из ведущих зерновых, кормовых и продовольственных культур. Зерно тритикале может использоваться в хлебопекарной, кондитерской, пивоваренной, спиртоводочной и комбикормовой промышленности. Считается, что лучший по качеству хлеб получается из смеси пшеничной (70–80%) и тритикалевой муки (20–30%).

Озимая тритикале предъявляет более высокие требования к почве, чем озимая рожь. Она хорошо растет на легких суглинках и супесчаных почвах, подстилаемых связными породами.

Корневая система озимой тритикале способна усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений. Тритикале лучше растет на слабокислых, близких к щелочной среде почвах (рН=5,8–6,5) и положительно реагирует на известкование.

Поглощение питательных элементов озимыми зерновыми происходит неравномерно. К концу фазы кущения, когда сформировано всего 10% биомассы в растения поступает не менее 25–30% азота и фосфора и в среднем четверть калия от их выноса за весь вегетационный период. Азот и калий рожь усваивает до цветения, фосфор – до восковой спелости зерна. Озимая пшеница основное количество азота и фосфора потребляет до колошения, калия – до фазы выхода в трубку. К моменту цветения 90–95% азота, фосфора и калия от максимального содержания в урожае уже находится в растениях (табл. 45). С этой фазы нарастают темпы реутилизации питательных элементов, и затухает корневое питание.

Таблица 45 – Динамика накопления питательных элементов в растениях зерновых культур (% от максимума)

Срок и фаза развития	Озимая пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Осенний и ранневесенний период	47	30	43	-	-	-	-	-	-
Начало колошения	69	65	68	71	56	73	51	36	54
Цветение	90	93	95	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	100	100	82	100	100	64	100	100	83

Самые ответственные периоды в питании озимых зерновых культур – *от всходов до ухода в зиму и начало вегетации весной*. Для обеспечения успешной перезимовки необходимо усиленное фосфорно-калийное питание, чтобы растения хорошо укоренились, быстро тронулись в рост, в тканях накопилось значительное количество углеводов, понижающих точку замерзания клеточного сока, и, следовательно, обеспечивающих устойчивость растений к низким температурам.

Весной растения выходят из-под снега ослабленными, в почве содержится мало легкодоступных форм азота, так как еще холодно, она переувлажнена и в этих условиях нитрификация замедлена. Именно в это время отмечается наибольшая зависимость величины будущего урожая от уровня обеспеченности растений азотом.

Система удобрения озимых зерновых складывается из допосевного (основного), рядкового внесения удобрений и подкормок (рис. 35).

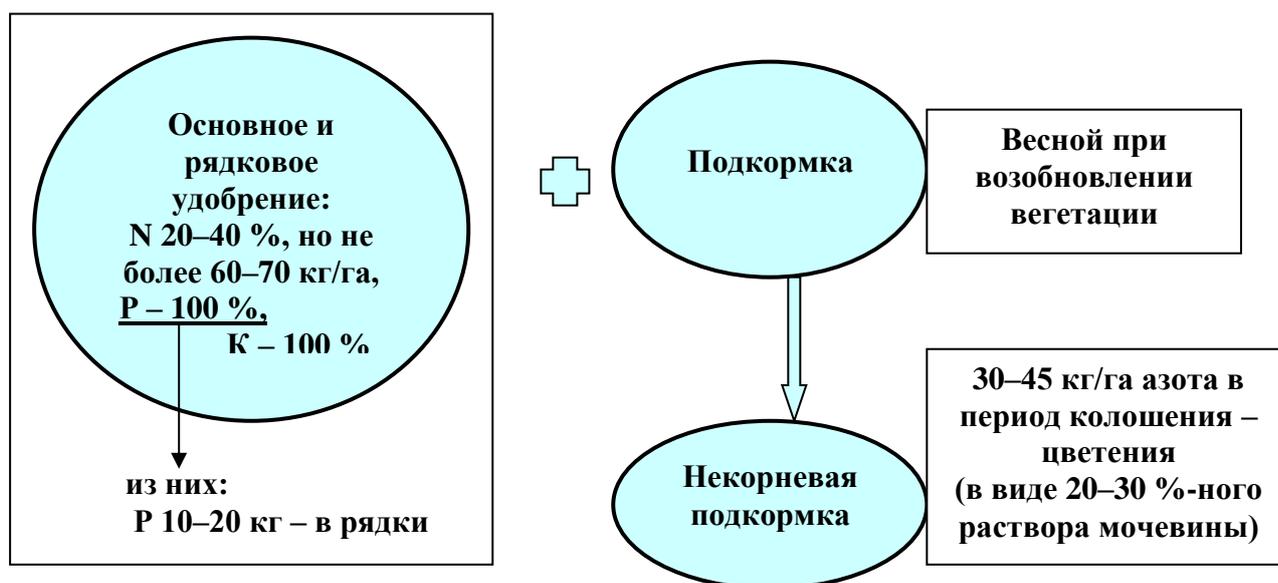


Рисунок 35 – Примерная схема удобрения озимых зерновых

Под озимые широко используют *органические удобрения*. Затраты на их внесение хорошо окупаются урожаем: в 145 опытах Географической сети ВИУА прибавка урожая от навоза на дерново-подзолистых почвах составила в среднем 0,7 т/га. Эффективность навоза снижается с севера на юг и с запада на восток Европейской части России и с востока на запад – в Сибири. Одна тонна навоза окупается в среднем 20–26 кг зерна. Оптимальные дозы органических удобрений под озимые в Нечерноземной зоне составляют 25–30 т/га. Органические удобрения можно вносить непосредственно под озимые, идущие по чистым парам, после рано убираемых предшественников или под парозанимающие культуры.

Дозы *минеральных удобрений* определяют с учетом величины планируемого урожая, свойств почвы, особенностей предшественника и внесенных под него удобрений.

Фосфорные и калийные удобрения (за исключением стартовой дозы фосфора) вносят *до посева* под основную обработку почвы.

Азотные удобрения применяют *дробно*. Под предпосевную обработку почвы используют примерно 30% суммарной дозы, но не более 60–70 кг/га. Лучшими азотными удобрениями для основного внесения являются аммонийные и амидные, которые малоподвижны в почве и практически не вымываются.

На хорошо окультуренных почвах, после бобовых предшественников, а также на всех почвах при внесении органических удобрений непосредственно под озимые азотные минеральные удобрения не вносят.

Такая организация питания растений в осенний период обеспечивает лучшее кущение, укоренение, накопление углеводов в узлах кущения и повышение зимостойкости растений.

Наибольший эффект дает локальное (ленточное) внесение основной дозы минеральных удобрений. Его можно вносить одновременно с высевом семян и внесением рядкового удобрения.

Доза *рядкового* удобрения составляет 10–20 кг/га P_2O_5 в виде водорастворимых фосфорных удобрений – суперфосфата, аммофоса или других комплексных удобрений. По данным опытов, проведенным на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, рядковое удобрение (10–20 кг/га P_2O_5) повышает урожайность озимых зерновых на 1,8–3,4 ц/га и наибольший эффект дает внесение фосфора (табл. 46).

Весной озимые рано трогаются в рост и требуют повышенного количества азота. В это время минерального азота в почве очень мало, так как мобилизационные процессы в осеннее-весенний период ослаблены из-за низких температур и переувлажнения почвы. Оставшееся количество азотных удобрений используют при проведении *подкормок*.

Таблица 46 – Влияние удобрений, внесенных в рядки, на урожайность озимых зерновых культур

Почвы	Урожай без рядкового удобрения, ц/га	Прибавка урожая от рядкового удобрения, ц/га			Число опытов
		Р	РК	НРК	
Дерново-подзолистые и серые лесные	19,0	2,6	2,3	2,6	18
Выщелоченные, типичные, южные черноземы	23,1	2,5	3,5	3,3	38

Подкормки могут быть ранними и поздними; ранние подкормки влияют на величину урожая, поздние (летние) – в основном, на его качество. Число подкормок определяется технологией выращивания культур.

При рядовой, традиционной технологии выращивания озимых зерновых проводят одну подкормку (используя оставшуюся дозу азота) – рано весной, как только сошел снег, и возобновилась вегетация растений (**время весеннего возобновления вегетации – ВВВВ**). Это наиболее эффективный срок внесения удобрений, так как он максимально приближен ко времени активного потребления растениями питательных элементов. В это время у растений появляются молодые корешки. Эта подкормка улучшает кущение растений и повышает урожайность. Внесение 30 кг/га азота позволяет дополнительно получить до 0,3 т/га зерна.

Однако на суглинистых почвах проведение подкормки в этот срок может быть затруднено из-за сложности передвижения разбрасывателя по полю. Если поле ровное, не имеет большого уклона, то подкормка может быть проведена раньше – «по черепку», когда в ранние утренние часы почва находится в подмерзшем состоянии, что не мешает движению машин.

При выращивании озимых *по интенсивной технологии*, предполагающей наличие технологической колеи, по которой может передвигаться техника, делают до трех подкормок. Первую подкормку (20% от суммарной годовой дозы) проводят рано весной при возобновлении вегетации. Оптимальная доза азота при этой подкормке зависит от плотности посева растений: при плотности 800–1000 шт./м² – 50–60 кг/га азота, при 600–800 шт./м² дозу следует увеличить на 15–20%, при плотности более 1000 шт./м² – не более 50 кг/га. Лучшим

удобрением для этой подкормки является аммиачная селитра, можно использовать мочевины, которую следует заделывать в почву бороной или для ее внесения использовать сеялку СЗО-3,6, направляя ее поперек рядков растений. Для этой подкормки можно использовать также жидкое азотное удобрение – КАС, предварительно разбавив его водой (в 2-3 раза).

Дозу азотной подкормки можно уточнить по результатам почвенной диагностики. Для этого определяют запас минерального азота в метровом слое почвы и уточнение ведут по формуле:

$$D_N = N_{\text{мин}}(1) - N_{\text{мин}}(2),$$

где D_N – уточненная доза азота для подкормки, кг/га; $N_{\text{мин}}(1)$ – требуемое содержание минерального азота в почве, кг/га; $N_{\text{мин}}(2)$ – фактическое содержание его в почве, кг/га.

Для получения урожая зерна 4,5–5,5 т/га в метровом слое почвы должно содержаться 140–160 кг/га минерального азота.

Одновременно проводят тканевую или листовую диагностику питания растений. Оптимальное содержание азота в листьях озимой пшеницы в фазе кущения составляет 4,9–5,5% на сухое вещество.

Если уточненная доза азота превышает 80 кг/га, то ее делят на две подкормки. Вторую подкормку проводят в начале выхода растений в трубку (при появлении первого стеблевого узла). Она способствует формированию продуктивного стебля (удлинению колоса, увеличению в нем числа зерен). Наиболее эффективным удобрением для этой цели является аммиачная селитра. Доза азота составляет 20–30% годовой дозы. Ее можно уточнить на основе тканевой или листовой диагностики. Оптимальное содержание азота в листьях озимой пшеницы в фазе выхода в трубку составляет 3,9–4,5% на сухое вещество. Уточнение проводят по формуле:

$$D_N = D'_N \frac{N_{\text{опт}}}{N_{\text{факт}}},$$

где D_N – уточненная доза азота для подкормки, кг/га; D'_N – уточняемая (рекомендуемая) доза азота, кг/га; $N_{\text{опт}}$ – оптимальное содержание азота в листьях, %, $N_{\text{факт}}$ – фактическое содержание азота в листьях, %.

При содержании фосфора и калия в растениях, отличных от оптимальных значений, уточнение дозы проводят по формуле:

$$D_N = D'_N \frac{N_{opt} \times P_{факт} \times K_{факт}}{N_{факт} \times P_{opt} \times K_{opt}},$$

где D_N – уточненная доза азота для подкормки, кг/га; D'_N – уточняемая (рекомендуемая) доза азота, кг/га; $N_{opt}, P_{opt}, K_{opt}$ – оптимальное содержание азота, фосфора и калия в листьях, %; $N_{факт}, P_{факт}, K_{факт}$ – фактическое содержание азота, фосфора и калия в листьях, %.

Корректировка доз азотных удобрений позволяет правильнее и экономнее их расходовать.

Весенние подкормки фосфорными и калийными удобрениями не эффективны. Лишь на почвах легкого гранулометрического состава возможна подкормка растений калийным удобрением. Наибольшая оплата урожаем отмечается от азотных удобрений (табл. 47)

Таблица 47 – Влияние весенней подкормки на урожай озимых в Нечерноземной зоне (данные ВИУА)

Удобрение и доза на 1 га, ц	Число опытов	Прибавка урожая зерна, ц/га	Оплата 1 кг д. в. удобрений зерном, кг
Аммиачная селитра (0,7)	686	3,0	12,6
Суперфосфат (1,5)	545	2,4	8,0
Аммиачная селитра (0,7) + суперфосфат (1,5)	320	3,5	6,5
Аммиачная селитра (0,7) + суперфосфат (1,5) + хлористый калий (0,5)	169	3,9	4,6

Третья подкормка (*некорневая*) проводится в период колошения-цветения. Она способствует повышению содержания в зерне белка. Эту подкормку рекомендуется проводить мочевиной (10–20%-ным раствором) или КАС (разведенным водой в 2-3 раза). Мочевина оказывает и физиологическое воздействие: усиливает фотосинтез, распад белков в листьях и отток азотсодержащих соединений в зерно.

Подкормку лучше проводить вечером или утром в безветренную и не дождливую погоду. Оптимальная доза азота для некорневой подкормки

составляет 30–45 кг/га. Для ее уточнения используют результаты листовой диагностики: если содержание общего азота в листьях превышает 4%, то подкормку не проводят, так как сильную пшеницу можно получить и без нее; если меньше 2% – подкормка бесполезна; и только если содержание общего азота составляет 2–4% – подкормка азотом эффективна.

Некорневая подкормка повышает не только содержание белка в зерне (на 0,5–2%), но и клейковины (на 3–5%), а также – выход незаменимой аминокислоты лизин.

Поздняя подкормка эффективна лишь на полноценных по густоте посевах с ожидаемой урожайностью пшеницы более 2,5–3 т/га, ржи – не менее 2–2,5 т/га при годовой дозе минерального азота более 60 кг/га.

При суммарных дозах азота, превышающих 100–120 кг/га для озимой пшеницы и 90 кг/га для озимой ржи, даже на высоком фосфорно-калийном фоне отмечается полегание посевов, от которого может быть потеряно до 30–60% урожая.

Радикальным способом борьбы с этим явлением является выведение низкорослых, полукарликовых и карликовых форм растений с прочной соломиной. Однако внедрение этих форм оправдано только в районах их происхождения. Они имеют слабую зимостойкость, мелкую корневую систему, пониженное качество зерна, повышенную склонность к поражению грибными болезнями, т.е., непригодны или малопригодны для умеренного климатического пояса.

В середине 60-х годов XX столетия был предложен альтернативный путь решения этой проблемы – применение *ретардантов* (от лат. *retardatio* – замедление, задержка). Это химические препараты, которые замедляют линейный рост растений, утолщают стенки стебля, способствуют развитию корневой системы. Их применяют как средство борьбы с полеганием без нарушения нормальных сроков созревания. В качестве примера можно привести препарат тур (ССС – хлорхолинхлорид от лат.: chlorcholinchlorid).

Обработку посевов ретардантами целесообразно совмещать с использованием гербицидов, проведением подкормки азотными и микроудобрениями.

Из микроудобрений для некорневых подкормок и предпосевной обработки семян используют борную кислоту, сульфаты меди, цинка, марганца. Для внесения в почву – бормагниевое удобрение, борный суперфосфат, аммофос с цинком, аммофос с медью, суперфосфат с марганцем, хлористый калий с медью и другие макроудобрения с микроэлементами. Дозы и приемы внесения микроэлементов показаны в таблице 48.

Таблица 48 – Дозы и приемы внесения микроудобрений под озимые зерновые культуры

Микроэлементы	Прибавка урожая, ц/га	Дозы и приемы внесения		
		основное, кг/га	в подкормку, г/га	обработка семян, г/ц
Бор	1,4	0,5	50	10
Медь	3,7	1,0	75	30
Цинк	2,5	3,0	25	12
Марганец*	1,9	3,0	50	18

* - для черноземных почв

В Смоленской области озимые зерновые в среднем за 2013–2017 гг. возделывались на площади 35 тыс. га, из них пшеница – 22, рожь – 6, тритикале – 7 тыс. га. Максимальная урожайность за эти годы составила у озимой пшеницы – 30,7 ц/га, озимой ржи – 20,4, озимой тритикале – 24,3 ц/га.

3.7.2 ЯРОВЫЕ ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ (пшеница, ячмень, овес)

Вегетационный период яровых зерновых культур короче, чем озимых (ячмень – 70–100 дней, овес – 100–120, яровая пшеница – 80–115 дней), а потребность в питательных элементах на создание единицы урожая – примерно одинаковая. В расчете на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы яровая пшеница выносит 27–38 кг азота, 9–12 кг фосфора и 18–30 кг калия, ячмень – 20–28, 7–12 и 11–24, а овес – 25–32, 10–14 и 28–32 кг, соответственно.

При выращивании яровых зерновых на черноземных почвах вынос питательных элементов растениями выше, чем на дерново-подзолистых почвах.

Корневая система у яровых зерновых менее развита, чем у озимых, они слабее кустятся. Это делает необходимым организацию их полноценного питания легкодоступными формами питательных элементов.

Поглощение растениями элементов питания происходит неравномерно. Почти половину общей потребности в азоте они потребляют к фазе выхода в трубку, а к фазе колошения поглощение азота практически завершается (табл. 49). Недостаток азота в первый месяц жизни ведет к нарушению формирования генеративных органов и снижению урожая. В таких условиях проведение подкормок азотом в более позднее время не помогает.

Таблица 49 – Поступление питательных элементов в растения яровой пшеницы
(в % от максимального содержания)

Фазы развития	Органическая масса	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кущение	4,6	19,6	3,3	25,4
Выход в трубку	12,6	44,8	34,7	42,1
Колошение	62,1	97,6	100,0	100,0

Первые 10–20 дней являются критическим периодом в питании растений фосфором. Внесение фосфорных удобрений (10–20 кг/га P₂O₅) в рядки вместе с семенами способствует росту корневой системы, формированию крупного колоса, способствует лучшему усвоению растениями азота и калия, повышает урожайность яровых зерновых на 2–4 ц/га.

Наибольшее количество калия растения поглощают в первые периоды роста, а к фазе колошения в них уже содержится практически весь необходимый калий (табл. 49), так же как и весь фосфор. Калийные удобрения наиболее эффективны на торфяно-болотных, минеральных песчаных и супесчаных почвах, а также в условиях известкования кислых почв и при низком содержании подвижных форм калия в почве.

Важнейшей кормовой и крупяной культурой, широко используемой в пивоварении, является ячмень. Требования к качеству зерна зависят от его назначения. При использовании ячменя на кормовые и пищевые цели содержание белка должно быть высоким, а клетчатки – низким. При использовании на пивоваренные цели содержание белка в зерне не должно превышать 12%, крахмала должно быть 56–70%, а экстрактивность – 72–83%. Содержание белков и крахмала в зерне взаимосвязано: чем больше крахмала, тем меньше белков.

Нечерноземная зона России по количеству тепла, осадков, света отвечает требованиям для получения хорошего по качеству зерна ярового ячменя.

Из яровых зерновых наиболее требовательны к условиям произрастания ячмень и пшеница, особенно твердая, так как основное количество питательных элементов она поглощает за более короткий промежуток времени. За межфазный период выход в трубку-колошение в пшеницу поступает более 75% питательных элементов.

Ячмень и пшеница хорошо растут на удобренных почвах с нейтральной реакцией среды (рН 6,0–7,3), не переносят кислых почв, очень хорошо отзываются на известкование и применение удобрений. Наибольшее влияние на содержание белков в зерне яровых зерновых оказывают азотные удобрения, особенно на дерново-подзолистых почвах.

Овес отличается меньшей требовательностью к теплу и плодородию почвы, чем другие яровые зерновые, лучше переносит кислые почвы (оптимальное значение рН 5,0–6,5), устойчив к заморозкам, в первой половине вегетации имеет повышенную требовательность к влаге. При нехватке удобрений овес является первым кандидатом на их лишение, так как корневая система отличается повышенной способностью к использованию почвенных запасов питательных элементов, в том числе находящихся в труднорастворимом состоянии. Вместе с тем эта культура хорошо отзывается на повышение плодородия почвы.

Яровые зерновые очень отзывчивы на удобрение. В среднем 1 кг NPK при правильном соотношении дает дополнительно 5,0–5,5 кг зерна. Система их удобрения, как правило, строится по двухзвенной схеме – допосевное и припосевное (рис. 36).

Органические удобрения под яровые зерновые, как правило, не вносят. Исключением является пшеница, выращиваемая в лесостепных и степных районах Западной Сибири. Здесь при размещении по пару под нее рекомендуется внесение от 15 до 30 т/га навоза или компоста.



Рисунок 36 – Схема распределения минеральных удобрений под яровые зерновые

Дозы минеральных удобрений определяют исходя из величины плановой урожайности, плодородия почвы, особенностей предшественника, внесенных под него удобрений. При современной технологии выращивания яровых хлебов под урожай зерна 4,0–4,5 т/га на дерново-подзолистых и серых лесных почвах требуется внесение 120–130 кг/га азота, 100–110 – фосфора и 90–100 кг/га калия. При подсеве к яровым зерновым многолетних трав, например клевера с тимофеевкой, фосфорно-калийные удобрения целесообразно вносить с учетом потребности в них трав, т.е. «в запас». На почвах с низким содержанием калия,

а также при возделывании яровых зерновых после многолетних трав отмечается высокая эффективность калийных удобрений.

До посева используют полное минеральное удобрение, при этом в зонах достаточного увлажнения фосфорно-калийные удобрения рекомендуется вносить осенью под зяблевую обработку почвы, а азотные – весной. На песчаных, супесчаных и торфяных почвах с промывным типом водного режима осеннее внесение калийных удобрений нежелательно.

Лучшими удобрениями для основного внесения являются аммофос, аммофосфат, ЖКУ, хлористый калий, аммиачная селитра (весной), КАС. Только в засушливых районах все удобрения, включая азотные, допустимо вносить осенью.

В системе удобрения яровых зерновых особая роль принадлежит азоту. При содержании нитратного азота в слое почвы 0–20 см менее 15 мг/кг почвы, что соответствует низкой обеспеченности, внесение азотных удобрений до посева необходимо, особенно под пшеницу. Если яровые хлеба размещаются после пропашных культур, под которые применяли органические удобрения, во избежание полегания растений следует вносить не более 50–60 кг/га азота.

При посеве яровых хлебов обязательным приемом является внесение в рядки водорастворимого фосфорного удобрения в дозе 10–20 кг/га P_2O_5 (в виде суперфосфата или аммофоса). Оно способствует лучшему укоренению растений, закладке репродуктивных органов, ускоряет созревание растений, повышает урожайность.

Подкормку яровых зерновых обычно не проводят. Она целесообразна только при орошении и выращивании этих культур по интенсивной технологии, когда планируется высокая доза азота под высокий урожай, а также тогда, когда по разным причинам до посева азотные удобрения не были внесены или их было внесено недостаточно. В этих случаях подкормку проводят в конце фазы кущения или начала выхода растений в трубку (в последнем случае – при наличии технологической колеи), а также можно провести некорневую подкормку в период колошения–начала цветения.

Поздняя подкормка улучшает качество зерна. Для ее проведения используют 65 кг/га мочевины на 300–500 л воды (для внесения наземной техникой). Можно использовать КАС при разведении водой в отношении 1:2 или 1:3.

Необходимо отметить, что прикорневые подкормки азотными удобрениями могут быть эффективными только при условии достаточного увлажнения почвы.

Важным условием эффективного использования удобрений, и особенно азотных, является равномерное распределение их по полю. Перед началом работ все машины должны быть отрегулированы на точность дозировок и равномерность внесения. Достичь высокой равномерности внесения позволяет использование жидкого азотного удобрения КАС машинами ОП-2000 или ОПШ-15.

Из микроэлементов наибольшее значение для яровых хлебов имеет медь. Для некорневых подкормок используют раствор сульфата меди (100–200 г/га). Проводят подкормку в период конец кущения–выход в трубку, совмещая с химической прополкой, обработкой посевов ретардантом, некорневой подкормкой азотом.

В Смоленской области яровые зерновые возделываются на площади около 80 тыс. га, что составляет примерно 20% всех посевных площадей. Урожайность изменяется в пределах: яровая пшеница – 19–21 ц/га, ячмень – 25–27, овес – 16–18 ц/га.

3.7.3 ЗЕРНОБОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

Зернобобовые культуры (семейство *Fabaceae*) являются ценными пищевыми и кормовыми культурами. К ним относятся горох, чечевица, вика, чина, арахис, фасоль, маш, нут, бобы, вигна, люпин и др..

Одной из главных особенностей зернобобовых культур является высокое содержание белка в семенах, листьях и стеблях. Их семена содержат гораздо больше белка, чем зерна злаковых культур: зерновые – 14–16%, горох – 25–28,

бобы – 27–35, вика 28–30, люпин – до 50%. Белок зернобобовых культур содержит незаменимые аминокислоты – лизин, триптофан, валин, метионин и др. (Шпаар и др., 2000), т. е. он более качественный и, кроме того, более дешевый. Солома этих культур содержит 18–20% сырого протеина. С помощью зернобобовых культур можно успешно решать проблему белка в пищевом и кормовом рационе. Кроме того, семена некоторых из них содержат много жира (арахис, соя), минеральных веществ и витаминов (А, В₁, В₂, С, D, Е, РР и др.), что значительно повышает их пищевое значение.

Зернобобовые культуры широко используются в пищевой промышленности (консервированные в зеленом виде горох и фасоль, мука, масло и др.). Из них производят важные в быту материалы – растительный казеин, лаки, эмаль, пластмассы, искусственное волокно, экстракты для борьбы с вредителями и др.

Эти культуры используются и в кормопроизводстве из-за высокого содержания белка в зеленой массе, зерне, полове и соломе. При составлении сбалансированных по протеину рационов их добавляют к злаковым растениям. Например, для повышения качества кукурузного силоса практикуются смешанные посевы с кормовыми бобами, соей и другими культурами.

Многообразна роль зернобобовых культур и в земледелии. Они обогащают почву биологическим азотом (до 50–60 кг/га), однако существенно на его баланс не влияют, оказывают положительное действие на структуру почвы, ее физические свойства, подавляют рост сорняков. Это прекрасный предшественник для зерновых и многих других сельскохозяйственных культур. Способность в симбиозе с клубеньковыми бактериями фиксировать атмосферный азот снижает потребность зернобобовых культур в азотных удобрениях. Примерно 65–70% азота, необходимого для формирования урожая, они берут из воздуха.

Установлено, что зернобобовые культуры за счет азотфиксации привносят в почву 100–400 кг/га азота: люпин – 400, соя – 150, люцерна – 140, донник – 130, клевер, горох, вика – 100 кг/га. Эффективность азотфиксации

зависит от обеспеченности растений питательными элементами, влагой, воздухом, светом, от реакции почвенной среды, содержания в почве минерального азота (оно не должно быть высоким), температуры воздуха (до +27°C). Если условия не благоприятные, то клубеньковые бактерии не могут полностью обеспечить растения азотом, и они вынуждены удовлетворять свою потребность в нем за счет азота почвы.

Важной особенностью зернобобовых культур, особенно люпина и гороха, является их способность усваивать из почвы и удобрений труднодоступные формы фосфора. Люпин, имея мощную, глубоко проникающую корневую систему, способен поглощать фосфор и другие элементы питания из глубоких горизонтов, обогащая ими пахотный слой почвы.

Поглощение питательных элементов зернобобовыми культурами протекает более или менее равномерно. К фазе цветения практически завершается поступление в растения азота и калия. Фосфор поглощается до конца вегетации. Большое значение в формировании семян имеет реутилизация питательных элементов. Поэтому ответственным в формировании урожая является период цветения—образование плодов.

Вклад реутилизации в формирование урожая семян зависит от условий выращивания растений. Исследованиями, проведенными во ВНИИ зернобобовых культур на серых лесных почвах, установлено, что у растений гороха при дефиците влаги и раннем прекращении процессов корневого питания до 100% азота и 85% фосфора в семенах может аккумулироваться за счет реутилизации из вегетативных органов. В условиях холодного и влажного лета – до 50% (Новикова, 2002).

Горох, вика и кормовые бобы требуют близкую к нейтральной реакцию среды (рН 6–7). Кислые почвы необходимо известковать. Нейтральная почва – это необходимое условие для развития клубеньковых бактерий. Кроме того, необходимо высокое содержание гумуса, фосфора, калия, кальция, молибдена.

Основными зернобобовыми культурами для возделывания на дерново-подзолистых и серых лесных суглинистых почвах являются горох, вика и их смеси с овсом, кормовые бобы, на песчаных и супесчаных – люпин желтый.

Система удобрения зернобобовых культур предусматривает основное и рядковое внесение удобрений и комплекс мер, способствующих повышению азотфиксирующей способности растений (рис. 37).

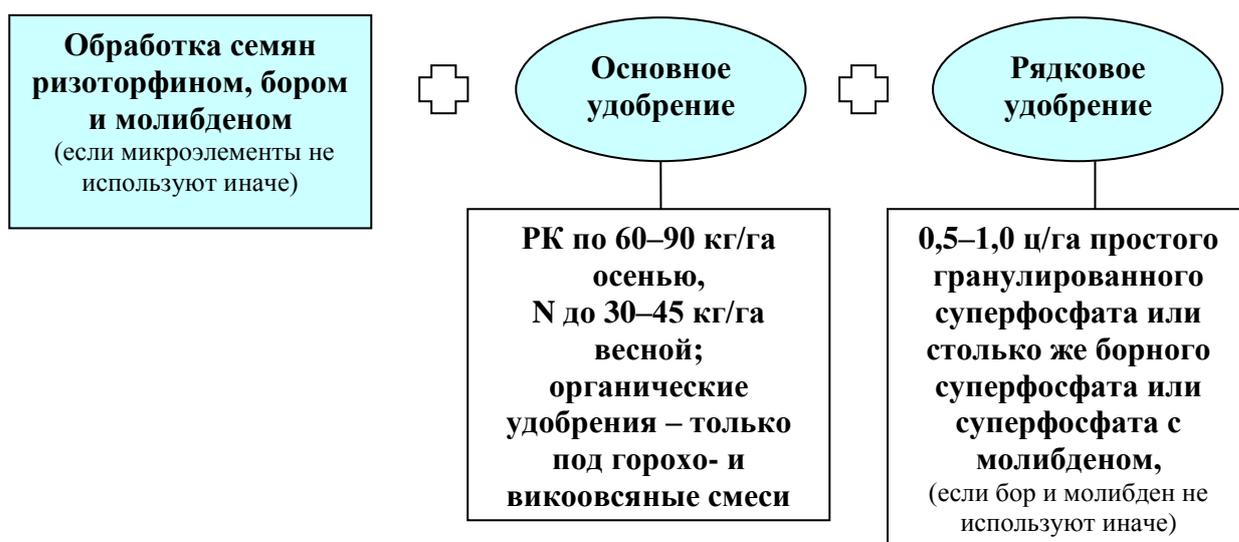


Рисунок 37 – Схема системы удобрения зернобобовых культур

До посева зернобобовых культур, как правило, используют минеральные удобрения, но при выращивании их в смеси с овсом в качестве парозанимающей культуры – и органические удобрения, особенно на слабо окультуренных почвах. Непосредственное внесение органических удобрений рекомендуется только под кормовые бобы (30 т/га). При внесении их под горох и вику происходит сильное развитие вегетативной массы и полегание растений. Органическое удобрение на суглинистых почвах вносят осенью вместе с фосфорно-калийными удобрениями (60–90 кг/га д. в.), а азотные удобрения – весной под предпосевную культивацию в дозах, соответствующих 30–45 кг азота на 1 га.

Важным звеном системы удобрения зернобобовых культур является внесение фосфора в рядки при посеве. Это может быть гранулированный

простой или двойной суперфосфат, борный или молибденизированный суперфосфат в дозе, соответствующей 10–15 кг/га P_2O_5 . Прибавка урожая зерна от этого приема составляет 1,5–2,0 ц/га. Подкормку зернобобовых культур не проводят.

На нейтральных почвах зернобобовые культуры могут испытывать недостаток бора, а для усиления азотфиксации необходим молибден. Прибавка урожая зерна гороха от внесения молибдена на дерново-подзолистых и серых лесных почвах составляет 2–3 ц/га (табл. 50). При содержании доступных форм бора и молибдена менее 0,3 мг/кг почвы необходимо применять борные и молибденовые микроудобрения, например, борный и молибденизированный суперфосфат. Их лучше использовать при посеве в рядки. Для предпосевной обработки семян используют борную кислоту и молибдат аммония (по 25–30 г на 1 ц семян). В современных условиях дефицита микроудобрений последний прием имеет предпочтение.

Таблица 50 – Действие молибдена на урожай гороха (данные ВИУА)

Почва	Урожай зерна, ц/га		Прибавка урожая	
	без молибдена	с молибденом	ц/га	%
Дерново-подзолистая	13,1	16,1	3,0	23
Серая лесная	20,5	22,5	2,0	10

С целью повышения азотфиксирующей способности зернобобовых культур применяют также обработку семян ризоторфином (200 г на гектарную норму семян), используя предназначенный для данной культуры препарат. Это особенно важно при выращивании бобовых культур на полях, где ранее они не возделывались. Ризоторфин повышает урожайность зерна гороха на 1–2 ц/га, люпина – на 2–2,5 ц/га, одновременно растет содержание белка в зерне на 2–3%. Инокуляцию семян ризоторфином совмещают с обработкой их борной кислотой и молибдатом аммония. Удобрения и ризоторфин растворяют в 5–10 л воды (расход на 1 т семян) и обрабатывают семена непосредственно перед посевом.

Таким образом, возделывание зернобобовых по современной технологии предусматривает соблюдение ряда условий:

- наличие соответствующего штамма клубеньковых бактерий;
- близкую к нейтральной реакцию почвенной среды;
- оптимальную влажность и хорошую аэрацию почвы;
- повышенное содержание в почве подвижных форм фосфора и калия (по 100–150 мг/кг почвы), а также микроэлементов;
- высокий уровень фотосинтеза, так как клубеньковые бактерии требуют много углеводов;
- использование высокопродуктивных районированных сортов.

Зернобобовые в Смоленской области выращивают на площади 6–8 тыс. га, урожайность зерна составляет 22–24 ц/га.

3.7.4 ГРЕЧИХА

Гречиха – одна из важнейших крупяных культур, которая может расти на разных почвах, но основные посевные площади ее сосредоточены на дерново-подзолистых почвах и оподзоленных черноземах. Наибольшие площади посевов гречихи сосредоточены в Центральном, Поволжском, Западно-Сибирском, Центрально-Черноземном и Уральском экономических районах. Посевные площади, занятые гречихой в последние годы выросли и составляют более 6 тыс. га. Эта ценная продовольственная культура при благоприятных погодных условиях дает более 20 ц/га зерна (в Смоленской области урожайность – около 10 ц/га). Содержание белка в зерне гречихи составляет 12–14%.

Гречиха относится к теплолюбивым растениям, семена начинают прорастать при температуре почвы 7–8 °С, всходы ее чувствительны к заморозкам и повреждаются при температуре воздуха минус 2–3 °С, при минус 4 °С растения полностью погибают. В период цветения-плодообразования температура воздуха должна быть в пределах 17–25 °С при относительной

влажности не менее 50%. Температуры выше 30 °С и ниже 12–14 °С отрицательно влияют на плодообразование.

Гречиха – влаголюбивая культура, особенно в первые две-три декады цветения, когда растения поглощают 50–60% влаги от общей потребности. Корневая система ее характеризуется слабым развитием, но очень высокой физиологической активностью. По массе корней на единицу площади она в 2,4 раза уступает пшенице, в 1,6 раза – ячменю, а по поглотительной способности, наоборот, в 2,7 раза превосходит пшеницу и в 5,5 раз – ячмень. В числе немногочисленных культур она способна усваивать фосфор из труднодоступных форм. Поэтому под нее можно вносить самое дешевое фосфорное удобрение – фосфоритную муку.

Лучшими почвами для гречихи являются хорошо аэрируемые, быстро прогреваемые, чистые от сорняков супесчаные почвы, а также легко- и среднесуглинистые хорошо окультуренные почвы. Она плохо растет на переувлажненных, заплывающих, холодных, тяжелых почвах. Для гречихи малопригодны как низкие места, где посевы могут пострадать от избытка влаги, туманов, заморозков, так и возвышенные, которые не защищены от холодных северо-восточных ветров. Она хорошо растет при кислотности почвы, соответствующей $pH_{КС1}$ 5–7. Известкование кислых почв повышает урожайность гречихи на 1,8–2,4 ц/га. Из известковых удобрений лучше использовать содержащую магний доломитовую муку, которая повышает урожайность гречихи на 3–5 ц/га.

Особенностью развития гречихи является неравномерное цветение, формирование и созревание плодов. На одном и том же растении имеются цветки, незрелые и созревшие плоды. Из-за низкого содержания нектара в цветках, плохого посещения растений пчелами и другими насекомыми-опылителями опыляется всего 8–10% цветков.

Гречиха отличается интенсивным выносом питательных элементов урожаем: в расчете на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы вынос составляет 30–38 кг азота, 15–20 – фосфора и 40–48 кг калия, что,

соответственно, в 1,5, 2 и 3 раза выше, чем вынос зерновыми хлебами. Это калиелюбивая и хлорофобная культура, поэтому лучшими формами калийных удобрений под нее являются бесхлорные (калимаг, калимагнезия, калийная селитра и др.). Так как в ассортименте калийных удобрений существенно преобладают хлорсодержащие, то их под гречиху следует вносить осенью, что в достаточной степени обеспечит вымывание из почвы хлора осенне-весенними осадками. Допустимо их внесение весной за 3–4 недели до посева, особенно на легких почвах.

Период активного потребления питательных элементов у гречихи короткий: за 30–40 дней после посева она использует более 60% азота и калия и до 50% фосфора от максимального их содержания.

Одним из важных факторов повышения урожайности гречихи является рациональное применение органических и минеральных удобрений. Во всех зонах возделывания гречиха проявляет высокую отзывчивость на органические удобрения, внесенные под предшественник. Лучшими предшественниками для нее являются сахарная свекла, картофель, кукуруза на силос, бобовые, удобренные органическими удобрениями озимые, пласт и оборот пласта многолетних трав. Не следует размещать гречиху после овса и картофеля, пораженного нематодой. На легких супесчаных почвах хорошим предшественником и одновременно органическим удобрением является люпин.

Полуперепревший навоз можно вносить непосредственно под гречиху (20–25 т/га). По данным ВИУА (1996 г.) внесение 20 т/га этого удобрения в среднем за 6 лет позволило на 70% повысить урожайность зерна по сравнению с выращиванием ее без навоза (с 9,5 до 16,2 ц/га), и было эффективнее, чем внесение этой же дозы под предшествующий картофель. Однако более высокие дозы навоза лучше вносить под предшествующую культуру.

Минеральные удобрения при внесении под гречиху повсеместно повышают ее урожайность, особенно на почвах с рН выше 5,6 и низким уровнем естественного плодородия, расположенных в зонах достаточного

увлажнения (Нечерноземная зона, лесостепь Поволжья, Сибирь и Дальний Восток). Схема системы удобрения гречихи показана на рисунке 38.

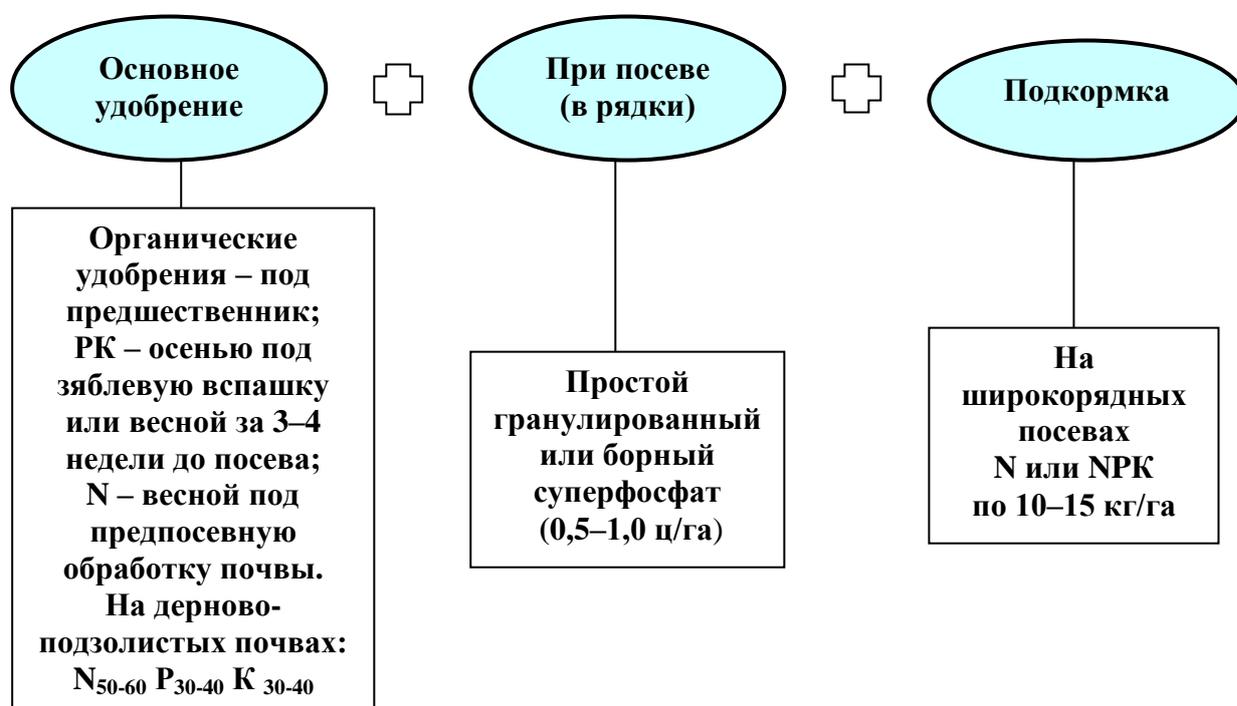


Рисунок 38 – Схема удобрения гречихи

Дозы удобрений следует определять с учетом почвенно-климатических условий, биологической потребности культуры в элементах питания, уровня обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания (на основании агрохимических картограмм) и степени их использования из почвы, последствий органических и минеральных удобрений, внесенных под предшественник и других условий.

Гречиха хорошо отзывается на азотные удобрения, но вносить их следует осторожно, так как избыток азота в середине и второй половине вегетации задерживает созревание и резко снижает плодообразование. Для среднеспелых и среднепозднеспелых сортов гречихи даже на слабокультуренных почвах после зерновых предшественников доза азота не должна превышать 60 кг/га, после пропашных – 30–40 кг/га.

Дозы фосфорных и калийных удобрений при содержании в почве подвижных форм фосфора и калия менее 100 мг/кг почвы для получения

урожайности 18–20 ц/га колеблются от 50 до 60 и от 90 до 100 кг/га, соответственно. При содержании в почве фосфора и калия более 200 мг/кг можно внести только 15–20 кг/га фосфора в рядки при посеве и 30–50 кг/га калия до посева.

Кроме азота, фосфора и калия для высокой продуктивности гречихи необходимы и некоторые микроэлементы. На дерново-подзолистых почвах, особенно после известкования, отмечается недостаток доступных для растений форм бора (менее 0,3 мг/кг почвы). В этих условиях внесение борных удобрений является одним из важных элементов системы удобрения. Для предпосевной обработки семян используют борную кислоту или буру, в почву вносят борнодатолитовую муку (100–150 кг/га) в смеси с основной дозой макроудобрений, борный суперфосфат – в рядки при посеве (0,5–1,0 ц/га).

Установлено, что улучшение питания растений гречихи бором и молибденом значительно усиливает выделение нектара, что привлекает пчел и других насекомых-опылителей, повышает жизнеспособность пыльцы и продуктивность растений.

Таким образом, на почвах с низким и средним уровнем естественного плодородия (при содержании 1,5–2,0% гумуса, 50–100 мг/кг почвы подвижных форм фосфора и калия) система удобрения гречихи должна включать следующие основные элементы: внесение органических удобрений под предшествующую культуру, основное внесение фосфорно-калийных удобрений осенью, а азотных – весной; внесение в рядки при посеве 10–20 кг P_2O_5 на 1 га в виде простого, борного суперфосфата, аммофоса. На широкорядных посевах при планировании высокой урожайности и современной технологии возделывания гречихи посевы подкармливают азотными или комплексными удобрениями (по 10–15 кг д. в. на 1 га) в период бутонизации-начала массового цветения.

В Смоленской области посевные площади гречихи с 2010 г. выросли с 2,1 до 5,1 тыс. га (2017 г.). Урожайность этой культуры за этот период увеличилась с 3,2 до 9,2 ц/га.

3.7.5 ЛЕН – ДОЛГУНЕЦ

Лен-долгунец является технической, прядильной и масличной культурой. Волокно льна по крепости на разрыв превосходит хлопок, джут, шерсть. Оно идет на изготовление тканей (от тончайшего батиста до грубых технических тканей). Льняные ткани гигроскопичны и обладают ценными гигиеническими свойствами. Семена льна содержат 20–25% белка и 35–40% жира, который идет на изготовление высококачественной олифы, лаков, красок, на пищевые цели. Льняной жмых (остаток семян после отжима масла) является ценным кормом для животных, так как содержит до 9% жира и 34% сырого протеина. Из костры производят плиты, используемые в строительстве.

Лен-долгунец возделывается в мире на площади 1–1,5 млн. га. Более 60% площадей находится в России, Украине, Белоруссии. Значительные площади имеются в Польше, Румынии, Франции, Чехии и Нидерландах. Передовые хозяйства получают до 7 ц/га семян и 10–12 ц/га льноволокна.

Лен – культура умеренного климата, любит рассеянный свет, облачность. Он лучше удается в местах с умеренно теплой, скорее, прохладной погодой. Это влаголюбивое растение, особенно много воды он потребляет в период от всходов до бутонизации. Вегетационный период у льна короткий (75–90 суток).

Лен имеет слабо развитую корневую систему. Корень – стержневой, может проникать в почву на глубину 150 см, но основная масса корней располагается в верхнем 15–20 см слое. Способность корней усваивать питательные элементы – слабая.

Общее количество потребляемых питательных элементов невелико: в расчете на 1 т соломы лен выносит 10–14 кг азота, 4,5–7,5 – фосфора, 11–17,5 кг калия, что в 1,5–2,5 раза меньше, чем вынос озимыми зерновыми культурами. Из удобрений лен усваивает 80–90% азота, 15–20% фосфора и 50–60% калия. В зависимости от типа почвы и предшественника дозы удобрений составляют (кг/га): N 30–40; P₂O₅ 60–90; K₂O 68–80.

Питательные элементы лен поглощает неравномерно. Первые 15–20 дней после появления всходов он растет медленно, в это время усиленно развивается

корневая система. Это критический период в потреблении фосфора. От фазы «елочки» до бутонизации отмечается критический период в питании азотом, но его избыток недопустим, так как может снизить качество волокна, повысить опасность полегания посевов, затянуть созревание. За период всходы–бутонизация льном поглощается примерно 30% азота и калия и 20% фосфора от общей потребности.

Максимальное количество питательных элементов (60–65%) лен поглощает в течение короткого промежутка времени (примерно две недели) от – бутонизации до цветения. К концу цветения поглощение азота и калия достигает 100%, фосфора – 80–90% от общей потребности растений.

Наиболее пригодными для возделывания льна-долгунца являются дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые почвы на моренных и лессовидных суглинках. Не пригодны почвы на рыхлых песках из-за неустойчивого водного режима, дерново-карбонатные с нейтральной или щелочной реакцией среды, дерново-подзолистые глеевые и глееватые, которые часто заплывают и находятся в переувлажненном состоянии, а также пойменные почвы, на которых невозможно устойчивое увлажнение.

Большая часть территории Нечерноземной зоны и Смоленской области соответствует требованиям льна к почве и агрометеорологическим условиям.

Оптимальный уровень pH_{KCl} для льна – 5,5–6,0. Лен очень чувствителен к содержанию в почве подвижного алюминия. При содержании его более 2 мг/100 г почвы проявляется токсичное действие на лен.

Лен хорошо отзывается на известкование сильно- и среднекислых почв, но после известкования нередко отмечается поражение льна бактериальными болезнями. Причинами такого явления может быть следующее:

- избыточно высокие дозы известковых материалов могут привести к сдвигу реакции почвенной среды до pH_{KCl} 6,5–7,0, что неблагоприятно для льна;
- нарушение соотношения Ca : K в почве в пользу кальция;

- недостаток магния при известковании мелом, известью или другими материалами, не содержащими магний;
- снижение подвижности соединений бора в почве при известковании;
- неравномерность распределения известковых материалов и удобрений, что является причиной очагового заболевания льном бактериальными болезнями.

В связи с этим, известкование в севооборотах со льном имеет следующие особенности:

- дозы извести должны быть такими, чтобы смещение $pH_{КСИ}$ не превышало 6,0. Известь оказывает действие в течение 6–7 лет. При достаточных дозах минеральных и органических удобрений известковать почву можно полными дозами, но при их дефиците дозы известковых удобрений снижают на суглинистых почвах на 30%, на легких супесчаных почвах – на 50%;

- известкование лучше проводить магнийсодержащими материалами, например, доломитовой мукой, и необходим контроль за равномерностью их внесения;

- известкование лучше проводить непосредственно под лен, или не позже чем за 4–5 лет до его посева. Организационно лучшее место внесения извести в севообороте со льном – покровная для клевера (или других многолетних трав) культура. При этом заметно повышается и урожайность клевера, посевы которого сильно изреживаются при повышенной кислотности, особенно после перезимовки;

- на фоне известкования ухудшается поступление калия в растения льна, поэтому необходимо повысить запасы его в почве. Оптимальное содержание подвижного калия в почве для льна – 200–250 мг/кг почвы. При содержании менее 80 мг/кг почвы и известковании полными дозами дозу калийных удобрений под лен необходимо увеличить в 1,5–2 раза. Для льна важна также обеспеченность почвы подвижными формами фосфора;

- так как известкование снижает содержание в почве подвижных форм бора и других микроэлементов (кроме молибдена), следует предусмотреть внесение под лен борсодержащих минеральных удобрений. Недостаток бора влияет, главным образом, на образование и развитие цветков и семян, пыльца не прорастает и цветки опадают. Доза бора под лен при основном внесении составляет 0,5–1,0 кг/га. Эффективно внесение борного суперфосфата при посеве в рядки (0,5 ц/га).

При планировании удобрений следует учитывать отношение льна к концентрации солей в почве, соотношение азота, фосфора и калия в удобрении, формы удобрений, время внесения, способы их заделки, а также плодородие почвы, уровень планируемого урожая, предшественник и внесенные под него удобрения.

Наиболее высокие урожаи льна дает полное минеральное удобрение в сочетании с органическими удобрениями в севообороте и известкованием кислых почв.

Под лен органические удобрения не вносят из-за высокой опасности засорения посевов сорняками (1 т навоза содержит до 2 млн семян сорных растений), невозможности равномерного их внесения и связанной с этим неравномерным созреванием растений. В севообороте со льном органические удобрения рекомендуется вносить под озимые зерновые и пропашные культуры.

В минеральных удобрениях особое внимание следует обращать на дозы азота. При недостатке азота растения льна плохо развиваются, нижние листья желтеют и опадают (рис. 39).

При избытке азота в стеблях льна-долгунца увеличивается доля древесины и снижается содержание волокна. Само волокно получается легковесным, с низкой прочностью или грубым, сильно одревесневшим. Избыточные дозы азота – одна из причин сильного поражения льна ржавчиной, затягивания его созревания. Поэтому дозы азотных удобрений должны быть установлены с учетом степени окультуренности почвы, вида предшественника

и внесенных под него удобрений. После клевера и других бобовых культур под лен снижают дозы азота, но возрастает потребность в фосфоре и калии. Под лен, идущий по мягким почвам, азота вносят больше (табл. 51).



Рисунок 39 – Дефицит азота на льне-долгунце (справа – растения удобренные азотом) (W. Bergmann, 1983)

Соотношение питательных элементов в минеральных удобрениях, применяемых под лен, зависит от уровня окультуренности почвы. На почвах окультуренных, хорошо обеспеченных азотом, отношение $N:P_2O_5:K_2O$ должно быть 1:3:4, на бедных азотом почвах – 1:2:(2-3).

Таблица 51 – Дозы минеральных удобрений под лен-долгунец на дерново-подзолистых почвах при среднем содержании питательных элементов

Урожайность волокна, ц/га	N, кг/га		P_2O_5 кг/га	K_2O кг/га
	хорошие клеверища	плохие клеверища и другие культуры		
5–7	0–20	30–40	50–60	60–80
8–9	20–30	40–60	60–90	80–100
10–12	30–45	60–80	90–120	90–120

Форма азота может быть любой, но лучше его вносить в составе комплексных удобрений. Исходя из требуемого соотношения азота и фосфора, лучшим удобрением для льна следует признать аммофос. Из фосфорных

удобрений пригодны любые, даже труднорастворимые. Хотя лен сам не способен усваивать труднорастворимые фосфаты почвы и удобрений, но под действием почвенной кислотности, к которой он относительно устойчив, они переходят в усвояемую форму. Можно использовать сочетание удобрений, например: 50% фосфора в виде суперфосфата и 50 – в виде фосфоритной муки.

Из калийных удобрений преимущество имеют бесхлорные формы (калимагнезия, калимаг, сульфат калия, калийная селитра, зола). Так как основным калийным удобрением является хлористый калий, то для снижения вредного воздействия хлора на лен целесообразно его внесение осенью. В таком случае эффективность хлористого калия и сульфата калия – равноценна.

При выращивании льна можно использовать все три приема внесения удобрений (рис. 40): допосевное (основное), припосевное (в рядки) и послепосевное (подкормку).

Основное удобрение обеспечивает питание растений на протяжении всего вегетационного периода. Его вносят как осенью, так и весной. Все фосфорно-калийное удобрение (или 2/3 дозы) рекомендуется вносить осенью, азотные – весной (вместе с оставшейся 1/3 частью фосфорного и калийного удобрений). Если фосфорные и калийные удобрения не были внесены осенью, то их вносят ранней весной за 2–3 недели до посева льна.

Для усиления роста растений в первый период в рядки при посеве вносят гранулированный суперфосфат (или борный суперфосфат) в дозе 10–15 кг/га P_2O_5 . Для этих целей можно использовать также аммофос или нитрофоску.

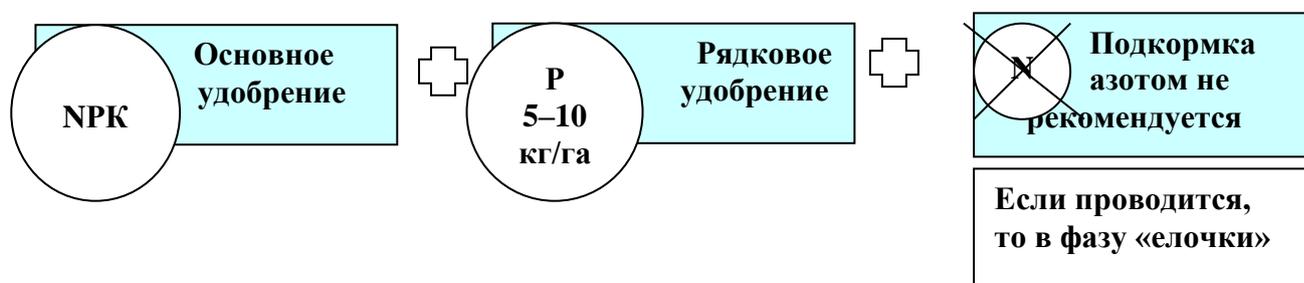


Рисунок 40 – Схема распределения минеральных удобрений под лен-долгунец

Подкормка эффективна, если до посева азот не был внесен или его внесено мало. В этом случае ее проводят в фазу «елочки», совмещая с обработкой растений гербицидами. Доза азота – 20–30 кг/га. Для подкормки можно использовать аммиачную селитру, а также местные удобрения – птичий помет (5–6 ц/га), разбавленную водой навозную жижу (6–8 т/га). Для уточнения необходимости подкормки и ее дозы используют результаты химической диагностики питания растений.

Для повышения устойчивости растений к бактериальным болезням совместно с протравливанием семян целесообразно провести обработку их микроудобрениями: борной кислотой (150 г/ц), молибдатом аммония (200 г/ц), сульфатом меди (100–200 г/ц), сернокислым цинком (200 г/ц семян).

Важным условием получения высококачественного волокна является равномерное распределение удобрений по поверхности поля. Некачественное их внесение вызывает нарушение соотношения между элементами питания, и как результат – неравномерный рост и развитие растений льна, очаговое поражение бактериальными заболеваниями, полегание и пр.

Лен-долгунец в Смоленской области выращивается на площади примерно 5 тыс. га. С 2015 г. на 1 гектар посевов льна внесено в среднем 14 кг действующих веществ минеральных удобрений. Урожайность льноволокна за этот период в среднем составила 9,6 ц/га.

3.7.6 КАРТОФЕЛЬ

Более 60% всех площадей картофеля в России сосредоточено в Нечерноземной зоне. Это ценная продовольственная, кормовая и техническая культура. Высокое содержание крахмала, сахаров, органических кислот, минеральных веществ, аскорбиновой кислоты определяет его высокую пищевую и кормовую ценность. Белок картофеля (туберин) имеет высокую биологическую ценность из-за повышенного содержания незаменимой аминокислоты лизин.

При выращивании картофеля на технические цели нежелательно высокое содержание в клубнях азотистых веществ, так как они затрудняют переработку и снижают выход крахмала. Для производства спирта картофель должен содержать не менее 16% крахмала. Оптимальное соотношение белка к крахмалу в клубнях составляет 1:16. При снижении содержания крахмала и уменьшении отношения белок:крахмал клубни плохо развариваются, приобретают вязкую консистенцию.

На накопление крахмала в клубнях, а также устойчивость растений к заморозкам и болезням положительное влияние оказывают фосфорные и калийные удобрения, особенно бесхлорные. Хлор снижает содержание крахмала в клубнях, повышает активность амилазы – фермента, расщепляющего крахмал, повышает оводненность клубней. Повышенные дозы азотных и органических удобрений ухудшают качество клубней за счет накопления нитратов, снижения содержания крахмала, аскорбиновой кислоты. Преобладание азота над фосфором и калием приводит к снижению устойчивости клубней к механическим повреждениям, увеличивает потери при хранении. При недостаточной обеспеченности растений калием отмечается потемнение мякоти клубней в результате увеличения содержания свободной аминокислоты – тирозина (рис. 38).

Картофель является культурой очень требовательной к почвенным условиям. Он имеет слаборазвитую корневую систему, но с высокой усваивающей способностью. Масса корней картофеля составляет около 7% от надземной массы. Коэффициент использования фосфора и калия из почвы составляет соответственно 5–6 и 15–20%. Для него наиболее пригодны структурные, плодородные, водопроницаемые, достаточно прогреваемые почвы легкого или среднего гранулометрического состава.

Вынос питательных элементов картофелем больше, чем зерновыми культурами, но меньше, чем корнеплодами. Это калиелюбивая и хлорофобная культура. В расчете на 1 т клубней с соответствующим количеством надземной биомассы в Нечерноземной зоне картофель выносит около 5 кг азота, 1,5 –

фосфора и 7 кг калия. Vegetационный период в зависимости от сорта колеблется от 60 до 140 дней. Период активного потребления питательных веществ у картофеля более продолжительный, чем у зерновых.



Рисунок 40 – Следствие калийного дефицита на клубнях картофеля: потемнение разрезанных клубней через 1 час и 20 часов, слева клубни без К-дефицита.
(W. Bergmann, 1983)

Запас питательных веществ в материнском клубне обеспечивает питание в первый период роста и развития растений. При появлении всходов наступает критический период в питании картофеля азотом и фосфором. Основное количество этих элементов ($2/3$ – $3/4$ от максимального поглощения) поступает за период бутонизация–цветение. Во время клубнеобразования возрастает роль реутилизации питательных веществ. К моменту уборки 80% поглощенного азота и 90% фосфора и калия сосредоточено в клубнях.

Несмотря на преобладание в выносе калия над азотом и фосфором, картофель часто в большей степени нуждается именно в азоте и фосфоре. Это объясняется большей усваивающей способностью из почвы и удобрений калия, чем фосфора и азота, а также тем, что большинство почв богаче калием, чем

азотом и фосфором. Но на легких почвах потребность в калии выше, чем фосфора, а иногда и азота.

Картофель влаголюбивая культура. На формирование 1 т клубней требуется 65–104 т воды. Наибольшая потребность в воде проявляется в межфазный период бутонизация-цветение. Переувлажнение почвы в конце развития растений приводит к так называемому удушью клубней и их загниванию от недостатка кислорода. Оптимальная температура воздуха – 15–20 °С. Повышение температуры до 30 °С и выше тормозит рост картофеля, а при температуре выше 42 °С он прекращается, так как на дыхание тратится больше продуктов ассимиляции, чем их накапливается при фотосинтезе.

Картофель хорошо переносит повышенную кислотность почвы. Оптимальным интервалом $pH_{КС1}$ является 5,5–6,0. Если $pH_{КС1}$ выше 6,0 картофель может поражаться паршой. Максимальный сдвиг pH почвы происходит на 2–3 год после известкования, поэтому для снижения поражения клубней паршой картофель лучше размещать на полях на 4–5-й год после известкования, когда действие извести затухает, или известь вносить непосредственно под картофель. Так же как и для льна в условиях известкования кислых почв под картофель полезно вносить борные удобрения (2 кг/га бора), повышенные дозы калийных, использовать магнийсодержащие известковые материалы, снижать дозы извести, особенно в условиях недостатка минеральных и органических удобрений (рис. 41).

На известкованной почве соотношение элементов питания в полном удобрении должно быть следующим: N:P:K = 1 : (1,3–1,5) : (1,3–1,5), при этом доза азота не должна превышать 135 кг/га.

Отзывчивость картофеля на удобрение – повышенная. При его выращивании может быть использована органическая, минеральная или органо-минеральная система удобрения.

Для получения высоких и устойчивых урожаев картофеля на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах рекомендуется вносить 50–60 т/га органических удобрений, а на песчаных – до 80 т/га. Увеличение дозы до

100 т/га повышает урожайность, но оплата органических удобрений урожаем снижается.

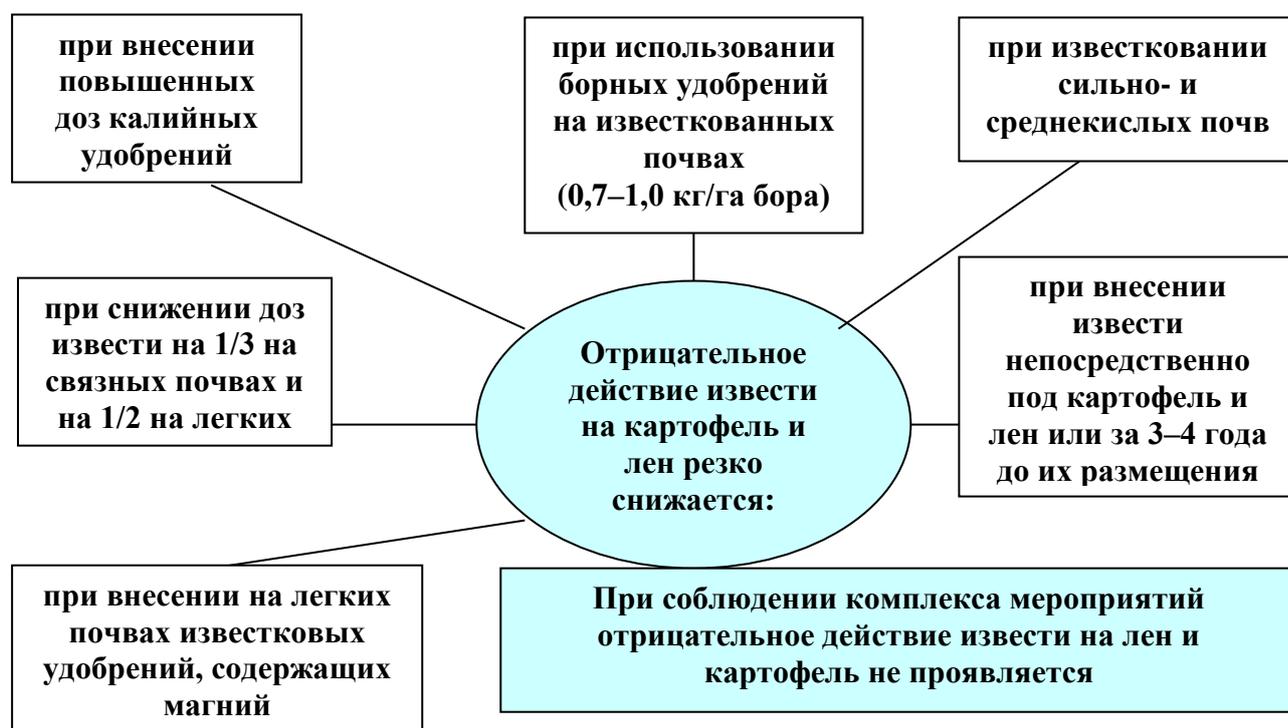


Рисунок 41 – Факторы, снижающие отрицательное действие извести на лен и картофель

Осеннее внесение органических удобрений под зяблевую вспашку имеет преимущество перед весенним, особенно на суглинистых почвах, так как при проходах техники весной по влажной почве неизбежно ее переуплотнение, что может привести к существенному недобору урожая. Только на легких песчаных и супесчаных почвах рекомендуется внесение органических удобрений весной.

Лучшими органическими удобрениями являются солоmistый навоз и торфонавозные компосты. При внесении любых органических удобрений необходимо равномерное распределение их по поверхности поля и заделка в почву в день внесения.

Эффективность навоза и минеральных удобрений при выращивании картофеля примерно одинакова. В Уральском районе минеральные удобрения

более эффективны, чем органические, на черноземах используют минеральную систему удобрения, в степной зоне ее сочетают с поливом.

На дерново-подзолистых почвах, особенно супесчаных, лучшей системой удобрения картофеля является органо-минеральная (табл. 52, рис. 42).

Таблица 52 – Совместное внесение навоза и минеральных удобрений под картофель, (данные ВИУА)

Вариант	Урожайность клубней, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	%
Без удобрений	191	-	-
Навоз 30 т/га	252	61	32
N60P60K60	259	68	36
Навоз 30 т/га + N60P60K60	322	131	69

При внесении навоза, чаще всего, проявляется потребность в дополнительном внесении азотных удобрений, а на почвах бедных фосфором и калием – и фосфорно-калийных. Фосфорные и калийные, особенно хлорсодержащие, удобрения на связных почвах целесообразнее вносить осенью под зяблевую вспашку. Это снижает напряженность весенних полевых работ и уменьшает опасность отрицательного влияния хлора на качество клубней.

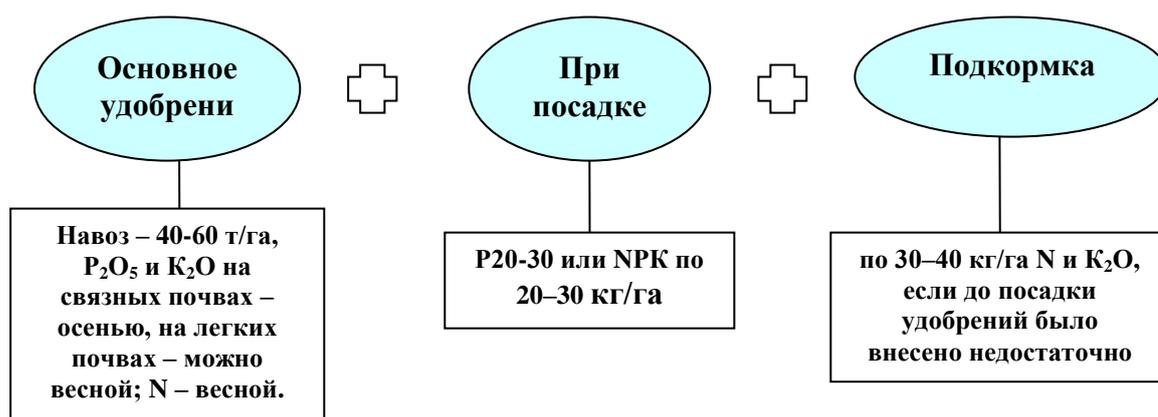


Рисунок 42– Схема применения удобрений под картофель

Азотные удобрения следует вносить весной под предпосевную культивацию, так как при осеннем внесении существует опасность заметных потерь азота за счет вымывания и денитрификации. Лучший способ внесения

минеральных удобрений – локальный. Из азотных удобрений под картофель лучше использовать аммиачные и амидные формы, из фосфорных – гранулированный суперфосфат. Из калийных удобрений преимущество имеют бесхлорные (сульфат калия, калимагнезия, зола), а из хлорсодержащих – хлористый калий, который рекомендуется вносить осенью

При посадке картофеля в рядки вносят гранулированный суперфосфат, аммофос или другие комплексные удобрения. На легких почвах и почвах с низким содержанием подвижного калия при посадке лучше вносить азотно-фосфорно-калийное комплексное удобрение (нитрофоску, нитроаммофоску, азофоску), а при их отсутствии – смесь простых удобрений. Доза рядкового удобрения – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия.

Подкормку картофеля чаще всего не проводят, так как перенесение части минеральных удобрений из основного внесения в подкормку снижает их эффективность. Ее проводят только тогда, когда до посадки удобрения не было внесено или внесено мало. В этом случае проводят подкормку азотными и калийными удобрениями (по 30–40 кг/га N и K₂O) при появлении полных всходов во время междурядной обработки. Соотношение N:P₂O₅:K₂O при удобрении картофеля должно быть 1:1,6:1,3.

На дерново-подзолистых почвах существенное повышение урожайности сортов картофеля, имеющих потенциал продуктивности 50–70 т/га, можно обеспечить при использовании прогрессивных технологий возделывания. Для этого, прежде всего, подбираются плодородные почвы, имеющие мощность пахотного слоя не менее 20–25 см. В суглинистых почвах содержание гумуса должно быть не менее 2%, подвижных форм фосфора – 250–300 мг/кг почвы, калия – 200–250 мг/кг, в супесчаных и песчаных – соответственно 1,5%, 160–250 и 180–240 мг/кг. На этих почвах без удобрений можно получить до 30–32 т/га картофеля.

На среднеобеспеченных подвижными формами питательных веществ дерново-подзолистых почвах осенью под вспашку вносят 40 т/га навоза или торфонавозных компостов, 70 кг/га P₂O₅ и 100 кг/га K₂O. Весной под

перепашку или дискование – 70–90 кг/га азота. При посадке клубней – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия в виде нитрофоски или нитроаммофоски.

Важным является соблюдение общей культуры земледелия, особенно при выращивании высокопродуктивных сортов. Густота посадки картофеля должна быть не менее 50–55 тыс. растений на 1 га. Необходима борьба с сорняками, болезнями и вредителями картофеля, использование орошения в период цветения и клубнеобразования, междурядное рыхление почвы, своевременная посадка и качественная уборка урожая. Опоздание с посадкой на 10–12 дней полностью снимает эффективность 30–40 т/га навоза.

В получении высокого урожая картофеля с хорошим качеством клубней существенную роль играют микроудобрения. На пойменных и торфяных почвах, где растения могут испытывать недостаток меди, можно использовать некорневые подкормки раствором сульфата меди (0,1–0,5 г на 1 л воды) по всходам и в фазу бутонизации картофеля. На дерново-глеевых, дерново-карбонатных почвах, а также при известковании проявляется высокое действие борного суперфосфата (1 ц/га).

При планировании высокого урожая на всех почвах посадки картофеля опрыскивают через три недели после всходов раствором макро- и микроэлементов. При этом на 1 га используют 400 л воды, в которой растворяют 6 кг мочевины, 3 кг сернокислого калия, 4 кг сульфата магния, и по 50 г молибдата аммония, сернокислого цинка, медного купороса и сернокислого окисного железа.

В Смоленской области картофель выращивается на площади примерно 16 тыс. га, в т. ч. 1,4 тыс. га – в сельскохозяйственных организациях. С 2015 г. на 1 гектар посадок картофеля в сельскохозяйственных организациях внесено в среднем 455 кг действующих веществ минеральных удобрений и 3,5 т/га органических удобрений. Средняя урожайность клубней картофеля за этот период в хозяйствах всех категорий составила 132 ц/га.

3.7.7 КУКУРУЗА

Кукуруза – ценная зерновая и кормовая культура. Ее используют в пищевой (мука, крупа, кукурузные хлопья, палочки, воздушная кукуруза, кукурузное масло, богатое витамином Е, и др.), крахмалопаточной, пивоваренной, спиртовой промышленности. Зерно – концентрированный корм и сырье для комбикормовой промышленности, зеленая масса, измельченные консервированные початки (вместе с зерном в молочно-восковой спелости) – ценные корма. Из кукурузных стеблей, стержней початков, их оберток вырабатывают бумагу, линолеум, вискозу, изоляционные материалы и др. Кукурузные рыльца применяют в медицине.

В Нечерноземной зоне кукурузу выращивают, в основном, как силосную культуру, так как она обладает огромным потенциалом для создания рекордных урожаев биомассы.

Это очень требовательная к почвенному плодородию культура. Под посевы кукурузы отводят участки с наиболее плодородными почвами и используют хорошие предшественники. Высокую урожайность зеленой массы кукурузы (50–60 т/га) получают в Нечерноземной зоне на почвах, богатых азотом с хорошими физическими свойствами, рыхлых, проницаемых для воды и воздуха, окультуренных и хорошо удобренных. Кукуруза хорошо растет на песчаных и супесчаных быстро прогреваемых почвах, заправленных навозом или зеленым удобрением, а также на пойменных и залежных землях; плохо растет на тяжелых, кислых ($pH_{КСI}$ менее 5,0), сильно заплывающих почвах с близким уровнем грунтовых вод. Оптимальный уровень $pH_{КСI}$ для кукурузы 6–7,5, содержания подвижных форм фосфора и калия должно быть не менее 100–150 мг/кг почвы. Колебания урожайности на одном и том же поле при разном уровне применения удобрений могут быть от 8 до 50 т/га.

Кукуруза имеет мощную корневую систему, способную извлекать питательные элементы из большого объема почвы. С урожаем зеленой массы 50–70 т/га она выносит 150–180 кг азота, 50–60 – фосфора и 150–200 кг калия.

Поглощение питательных элементов продолжается до наступления восковой спелости зерна, но наиболее интенсивно – в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени – от выметывания метелки до цветения. К фазе цветения растения содержат уже по 60% азота и фосфора и 80% калия от максимального содержания.

Использование удобрений под кукурузу – важнейший элемент технологии возделывания. Ее необходимо обеспечить бесперебойным снабжением питанием на протяжении всего вегетационного периода. Наиболее полно этому требованию отвечает сочетание применения органических (30–40 т/га на суглинистых, 40–60 т/га на супесчаных почвах) и минеральных удобрений.

Дозы минеральных удобрений планируют исходя из выноса питательных элементов планируемым урожаем, содержания их подвижных форм в почве, коэффициентов использования питательных элементов из почвы и удобрений, а также дозы и размеров усвоения питательных элементов из органических удобрений. При выращивании кукурузы без органических удобрений дозы минеральных, как правило, вдвое выше по сравнению с органо-минеральной системой удобрения. Возделывание кукурузы после бобовых снижает потребность растений в азоте и усиливает – в калии.

В связи с тем, что кукуруза требует близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, на кислых почвах необходимо сочетание известкования с использованием органических и минеральных удобрений (табл. 53).

Таблица 53 – Урожайность кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве (по данным БЕЛНИИЗ)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га
Контроль без удобрений	7,7	-
20 т/га навоза	27,3	19,6
20 т/га навоза + 4 т/га извести	38,7	31,0
20 т/га навоза + 4 т/га извести + NPK	50,8	43,1

Удобрение кукурузы может строиться по трехзвенной схеме: основное, рядковое удобрение и подкормка (рис. 43).

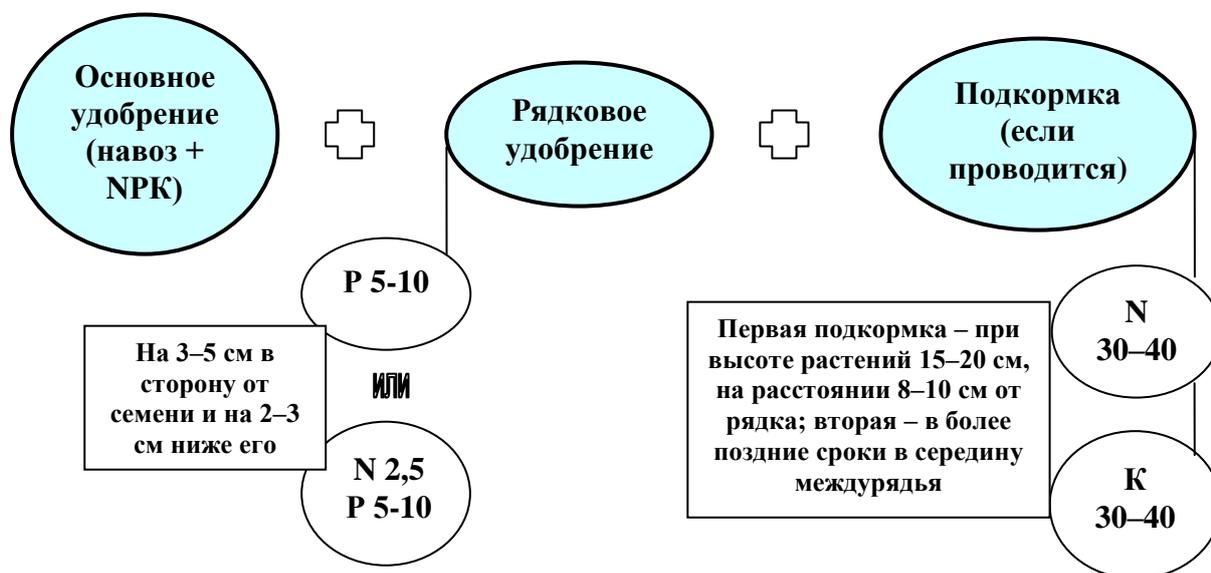


Рисунок 43 – Схема распределения удобрений под кукурузу

Необходимо дифференцированно подходить к срокам и способам внесения минеральных и органических удобрений.

Органические удобрения лучше вносить осенью, так как весеннее внесение приводит к уплотнению почвы, запаздыванию со сроками сева, повышению засоренности посевов. Лишь на почвах легкого гранулометрического состава в Нечерноземной зоне органические удобрения можно вносить весной.

В опытах Почвенного института им. В.В. Докучаева на серой лесной почве установлено, что при сплошном ее уплотнении двукратными проходами тракторов К-700 и Т-150К в весенний период при влажности почвы 25–27% она так и не смогла прийти в норму в течение всего летнего периода. Это привело к снижению урожайности кукурузы в первый год на 50%, а отрицательное действие уплотнения сказывалось еще два года (Л.Л. Шишов, 1986).

Деформациям подвержены все почвы, но сильнее страдают суглинистые и глинистые, причем уплотняется не только пахотный слой, но и подпахотные горизонты.

Если учесть отрицательное действие уплотнения почвы на урожайность кукурузы, то навоз при весеннем внесении не всегда может в первый год компенсировать недобор урожая. В связи с этим необходимо ограничивать воздействие тяжелых колесных агрегатов на почву весной.

Один из таких путей – перенесение срока внесения органических удобрений с весны на осень. Это снижает напряженность весенних полевых работ. Частично эта задача может решаться и за счет использования глубокого рыхления почвы чизелями. Вслед за разбрасыванием по полю, особенно в солнечные погожие дни, навоз необходимо в течение 2-х часов запахать, в противном случае потери аммиачного азота из него могут достигнуть 30%.

Фосфорные и калийные удобрения следует запахивать осенью под зяблевую вспашку; при мелкой заделке весной эффективность их резко снижается. На песчаных и супесчаных почвах удобрения следует вносить весной под культивацию, так как на этих почвах возможны существенные потери питательных элементов за счет вымывания (в условиях достаточного и избыточного увлажнения). Азотные удобрения вносят весной до посева. Эффективность основного минерального удобрения заметно повышается при локальном способе внесения по сравнению с разбросным. Ленточное внесение удобрений обеспечивает более рациональное и экономное их расходование.

Кукуруза очень медленно растет в первый месяц после всходов и поглощает ограниченное количество элементов питания. Однако недостаток доступных форм питательных элементов, особенно фосфора, отрицательно сказывается на дальнейшем развитии растений, снижает использование элементов питания из основного удобрения. Недостаток фосфора вызывает неравномерность появления рылец у кукурузы, приводит к неравномерному цветению, оплодотворению, вследствие этого – к искривлению початков со сформированными неровными рядами зерен и засыханию верхушки.

Визуальный признак острого дефицита фосфора на ранних стадиях развития кукурузы показаны на рисунке 44.



Рисунок 44 – Острый дефицит фосфора на кукурузе в ранние фазы развития
(W. Bergmann, 1983)

Поэтому, при посеве кукурузы необходимо внесение в рядки 5–10 кг/га фосфора в виде суперфосфата или аммофоса. Прибавка урожая от внесения 10 кг/га P_2O_5 составляет 3 т/га зеленой массы кукурузы. Рядковое удобрение следует вносить глубже семян и в сторону от них на 3–5 см, так как кукуруза в начале развития чувствительна к высокой концентрации солей в почве.

При недостаточной заправке почвы основным удобрением, а также в годы с холодной весной, на легких почвах и при орошении кукуруза хорошо отзывается на подкормки. Особенно эффективна подкормка азотом в дозе 40 кг/га в фазе 3–5 листьев. При слабом развитии растений через 2–3 недели проводят вторую подкормку в дозе 20–30 кг/га азота.

Подкормку фосфорными и калийными удобрениями проводят тогда, когда до посева удобрения не были внесены или их было внесено недостаточно и почвы слабо обеспечены подвижными формами фосфора и калия. Дозы подкормки – по 20–30 кг/га P_2O_5 и K_2O . Можно использовать навозную жижу (3–5 т/га), птичий помет (0,5–0,6 т/га) а также золу (0,3–0,4 т/га). Подкормки проводят культиваторами-растениепитателями, помещая удобрения во влажный слой почвы и избегая подрезания корневой системы.

Под кукурузу могут быть использованы любые формы минеральных удобрений, но учитывая высокую чувствительность кукурузы к концентрации солей в почве, предпочтение следует отдавать высококонцентрированным

формам, с которыми в почву меньше попадает сопутствующих солей. Из фосфорных удобрений лучшим является двойной суперфосфат, из азотных – аммиачная селитра, сульфат аммония. Жидкие азотные удобрения в большинстве случаев дают близкие результаты. При возделывании кукурузы на постоянных участках лучшее азотное удобрение – аммиачная вода и безводный аммиак. Затраты средств и труда на внесение аммиака значительно ниже, чем при использовании твердых удобрений. Его применение способствует уничтожению до 50% вредных организмов, в частности, проволочника. Губительное воздействие продолжается от нескольких часов до 1,5 суток. Микрофлора почвы после внесения аммиака быстро восстанавливается из-за обилия в пахотном слое легкоусвояемого азота. Сразу после внесения аммиачная вода и безводный аммиак сдвигают реакцию почвы в сторону нейтрального интервала, способствуя лучшему росту и развитию молодых растений кукурузы, которые в раннем возрасте плохо переносят кислую среду.

Из калийных удобрений преимущество имеет хлористый калий, который рекомендуется вносить осенью.

Кукуруза хорошо отзывается на внесение микроудобрений, содержащих бор, медь, марганец, цинк и др. Высокая их эффективность проявляется только на фоне азотных, фосфорных и калийных удобрений.

На дерново-подзолистых почвах кукуруза хорошо реагирует на внесение цинковых удобрений. Почвенный цинк при известковании и внесении высоких доз фосфорных удобрений переходит в труднодоступное состояние, а при выращивании кукурузы на постоянных участках (выводных полях) выносятся из почвы с высокими урожаями. При недостатке цинка у кукурузы отмечается побеление (хлороз) верхних листьев, задерживается деление клеток, рост растений, появляется карликовость (рис. 45).

В качестве цинковых удобрений используют сернокислый цинк и различные отходы промышленности (ПМУ-7, силикатный цинк, шлаки медеплавильных заводов), а также аммофос с цинком.

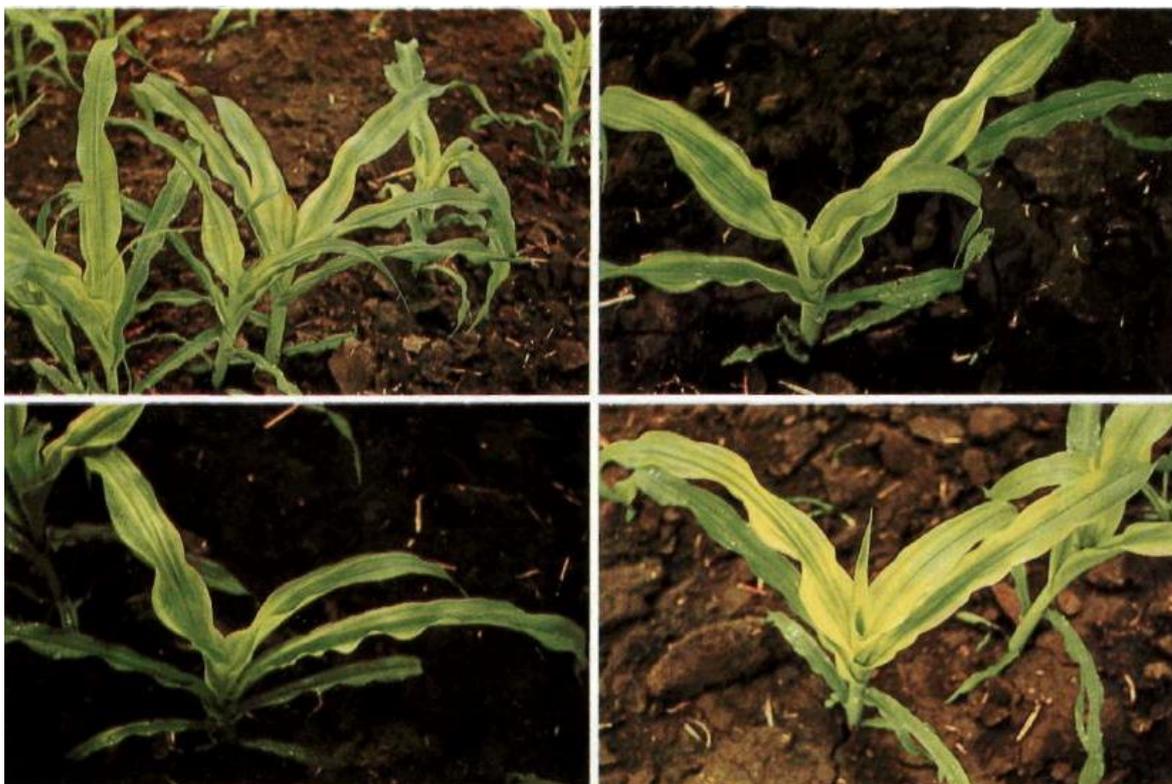


Рисунок 45 – «Белые ростки» на кукурузе при Zn-дефиците (W. Bergmann, 1983)

Сульфат цинка используют для некорневой подкормки и предпосевной обработки семян, аммофос – для основного и рядкового удобрения, отходы промышленности – в качестве основного удобрения.

При содержании подвижных соединений бора в легких почвах менее 0,2, а в суглинистых – менее 0,3 мг/кг почвы растения кукурузы нуждаются во внесении борных удобрений. Наибольшая концентрация бора отмечается в пыльце, при его недостатке она не прорастает, и формируются невыполненные початки (рис. 46).

Данные многочисленных опытов, проведенных на почвах с низким содержанием бора, свидетельствуют о существенном росте урожайности кукурузы (на 4–8 т/га) и улучшении кормовых достоинств зеленой массы при внесении борных удобрений. Их применяют при предпосевной обработке семян и некорневой подкормке в фазе выметывания метелок (борная кислота), вносят в почву весной до посева кукурузы (бормагниеовое удобрение, борный суперфосфат), в рядки при посеве (борный суперфосфат).



Рисунок 46 – Початки кукурузы при дефиците бора (W. Bergmann, 1983)

Вреден не только недостаток, но и избыток бора в почве. Содержание его более 30 мг/кг почвы является причиной тяжелых заболеваний не только растений, но и животных. Признаки токсичности бора проявляются на растениях в виде краевого некроза, пожелтения и отмирания нижних листьев.

В земледелии Нечерноземной зоны важным вопросом является получение зерна кукурузы в состоянии восковой и полной спелости, т.е. выращивание ее по так называемой зерновой технологии. Ограничивающим фактором получения зерна кукурузы является дефицит активных температур. В 60–80-х годах XX столетия эту проблему решали с помощью гидрофобизации семян (покрытия их водоотталкивающей пленкой), что позволяло в условиях Московской области посев кукурузы проводить в конце апреля с получением полноценных початков. В настоящее время этот прием не используется. Перспективным является выращивание скороспелых сортов кукурузы.

В Смоленской области кукурузу на силос, зеленый корм и сенаж выращивают на площади около 10 тыс. га.

3.7.8 КОРМОВЫЕ КОРНЕПЛОДЫ

Кормовые корнеплоды (кормовая свекла, кормовая морковь, брюква, турнепс) лучше удаются на богатых органическим веществом почвах с глубоким пахотным слоем. Это холодостойкие культуры. Наиболее требовательна к плодородию почвы кормовая свекла и морковь, менее требовательны брюква и турнепс.

Кормовая свекла и морковь лучше удаются на известкованных почвах, имеющих pH_{KCl} 6,7–7,2. Брюква и турнепс переносят слабокислые почвы и хорошо растут при pH_{KCl} 5,5–6,5.

Кормовые корнеплоды имеют слаборазвитую корневую систему, но выносят из почвы много питательных элементов. Это калиелюбивые культуры. Так, кормовая свекла выносит калия почти в 2 раза больше, чем азота, и в 7 раз – чем фосфора.

Потребление питательных элементов у корнеплодов в течение вегетационного периода неравномерное. В период формирования надземной массы ощущается наибольшая потребность в азоте. Фосфор поглощается равномерно на протяжении всей вегетации, а калий активно усваивается во второй ее половине, когда идет формирование корнеплода. При таком длительном периоде активного поглощения питательных элементов эффективны поздние подкормки.

Рациональной системой удобрения корнеплодов является органо-минеральная (рис. 47). В расчете на 1 т навоза кормовая свекла дополнительно дает 200 кг корней, а на 1 кг NPK – 65 кг. Наиболее отзывчивым на минеральные удобрения является турнепс, так как у него вегетационный период короче.

Под корнеплоды можно вносить любые формы азотных и фосфорных удобрений. Среди калийных удобрений лучшей из-за содержания натрия является 40%-ная калийная соль.

Кормовая свекла способна в больших количествах накапливать в корнеплодах нитратный азот, в связи с этим, под нее рекомендуется вносить не

более 160 кг/га азота, распределяя его на основное удобрение и подкормку. Можно азот вносить и при посеве в составе комплексных удобрений.

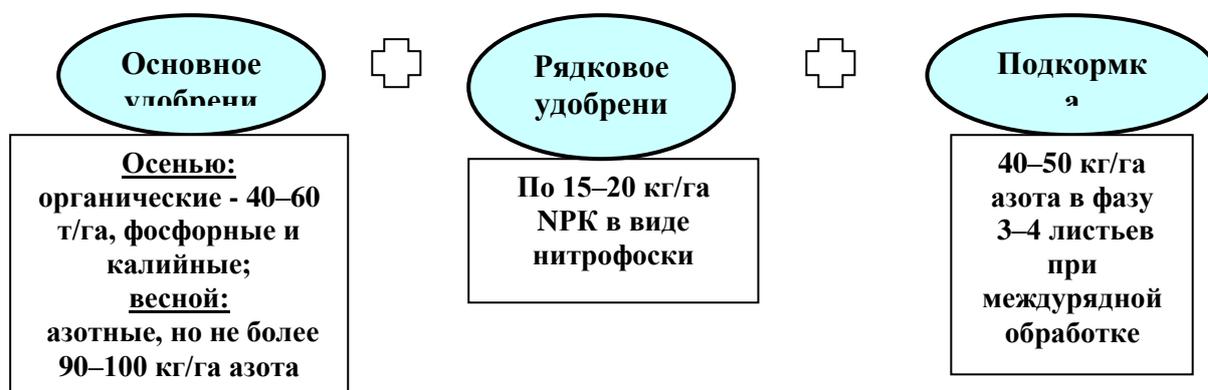


Рисунок 47 – Схема распределения удобрений под кормовую свеклу

На производственных и нейтральных почвах кормовая свекла нуждается в боре, при недостатке которого появляется заболевание корнеплода гнилью сердечка и дуплистостью (рис. 48). Бор вносят в дозе 0,5–0,8 кг/га в почву или при некорневой подкормке в фазе 3–4 листьев – 200 г/га раствора борной кислоты растворенной в 300 – 400 л/га воды (расход на 1 га).

Под урожайность брюквы и турнепса 35–40 т/га рекомендуется вносить 40–60 т/га органических удобрений, а также минеральные: N80–90, P50–60, K80–90.

В Смоленской области кормовые корнеплоды возделывают на площади 0,2–0,3 тыс. га.

3.7.9 ОДНОЛЕТНИЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ТРАВЫ

Однолетние травы. Среди однолетних трав наиболее распространены горох посевной и полевой, вика яровая и озимая, люпин желтый, овес, райграс однолетний, подсолнечник, рапс, редька масличная, сурепица. Их выращивают как самостоятельные посевы или в смесях. Широко распространены горохоовсяные и викоовсяные смеси. Они дают хорошие урожаи в год посева, обладают высокой питательной ценностью, их можно высевать несколько раз в год и получать зеленую массу. В районах, где рано убирают основную

культуру, поукосные и пожнивные посевы горохо- и викоовсяной смеси дают по 12–15 т/га зеленой массы, а тройные смеси с подсолнечником и райграсом однолетним – до 20 т/га.

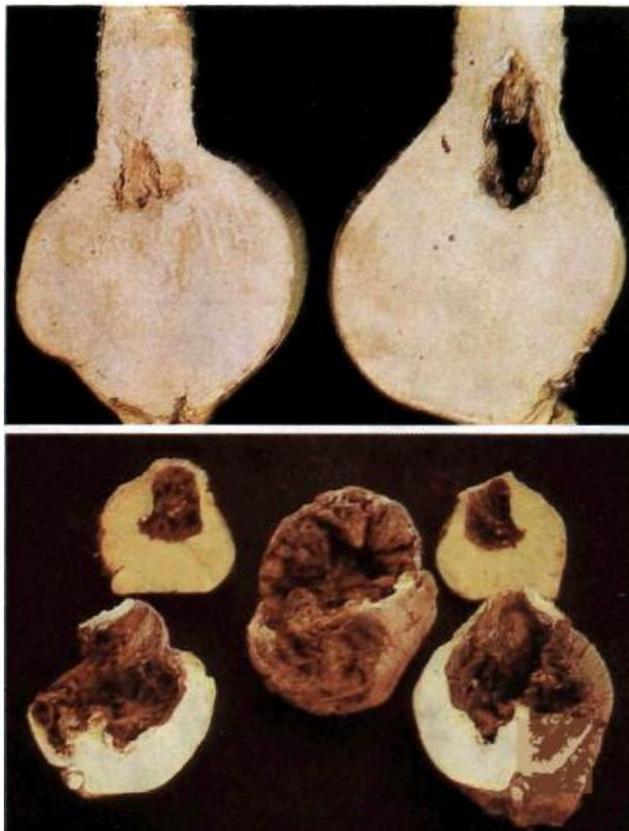


Рисунок 48 – Брюква с признаками сильного дефицита бора (W. Bergmann, 1983)

Однолетние травы отзывчивы на органические удобрения, внесенные под предшествующую культуру. На бедных питательными элементами почвах органические удобрения можно вносить непосредственно под однолетние травы (30–40 т/га).

Зернобобовые культуры отзывчивы на фосфорно-калийное удобрение. Для получения 30 т/га зеленой массы применяют 40–60 кг/га P_2O_5 и 80–100 кг/га $-K_2O$, осенью под зяблевую вспашку почвы. Эти удобрения повышают жизнедеятельность клубеньковых бактерий и, тем самым, способствуют лучшему усвоению азота из воздуха.

Азотные удобрения применяют только на слабокультуренных почвах весной во время предпосевной обработки почвы (20–30 кг/га азота). При посеве в рядки рекомендуется внесение 10–15 кг/га P_2O_5 в виде суперфосфата.

На дерново-подзолистых почвах значительно повышает урожайность однолетних бобовых трав предпосевная обработка семян молибдатом аммония (25–50 г/ц семян). На бедных бором почвах в предпосевную обработку следует ввести 50–60 кг/га бормагнезиевого удобрения или при посеве – 0,5–0,7 ц/га борного суперфосфата.

Под культуры семейства капустных и райграс однолетний в среднем 1 га вносят по 80–100 кг азота, 60–80 – фосфора и 90–120 кг калия.

К однолетним травам нередко подсевают многолетние. В Смоленской области однолетние травы выращивают на площади 38–40 тыс. га.

Многолетние травы (бобовые в чистом виде или в смеси со злаковыми травами) возделываются в полевых и кормовых севооборотах, а также на лугах и пастбищах. По сравнению с другими кормовыми культурами они наиболее экономичны вследствие многолетнего многоукосного использования, высокой питательности корма и возможности полной механизации возделывания. В Нечерноземной зоне можно получать по 8–10 т/га т (и более) сена многолетних трав. Их высевают преимущественно под покров яровых или озимых зерновых культур, а также однолетних трав.

Из многолетних трав первостепенное значение имеют клевер луговой и розовый, люцерна, донник, а из злаковых – тимофеевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная.

Благодаря клубеньковым бактериям, многолетние бобовые травы около 2/3 потребляемого азота способны усваивать из воздуха. Вместе с тем, они более требовательны к плодородию почвы, чем злаковые. С урожаями 5–7 т/га сена клевер выносит из почвы 30–65 кг фосфора, 70–120 – калия, 120–170 – кальция, 36–52 кг магния. Злаковые травы потребляют значительно больше азота и калия из почвы, чем бобовые, и более устойчивы к кислотности почвы.

Клевер не выдерживает кислую реакцию среды. При $pH_{КС}$ ниже 5 и содержании подвижных форм марганца и алюминия более 2 мг/100 г почвы он плохо растет, изреживается при перезимовке, урожай семян и сена снижается. Об эффективности известкования можно судить по следующим данным Смоленской государственной областной опытной станции и Белорусского НИИ земледелия (табл. 54).

Таблица 54 – Эффективность известкования почв при выращивании клевера

Вариант	Урожайность ц/га	Прибавка	
		ц/га	%
Смоленская областная сельскохозяйственная опытная станция			
Контроль	89,0	-	-
Известь (1,5×Нг)	125,7	36,7	41
БелНИИЗ			
Контроль	50,9	-	-
Известь (1,5×Нг)	114,5	63,6	125

При посевах клеверо-злаковых травосмесей известкование и применение фосфорно-калийных удобрений повышают не только урожайность, но и сохранность в них клевера (табл. 55).

Корневая система клевера обладает способностью усваивать фосфор из труднорастворимых соединений, которая с возрастом повышается. На легких песчаных и супесчаных почвах клевер хорошо реагирует на внесение магниевых удобрений. Торфяные почвы очень бедны медью, поэтому под клевер целесообразно использовать медьсодержащие удобрения. На многих дерново-подзолистых почвах хороший эффект дают молибденовые удобрения.

Таблица 55 – Влияние извести на урожай сена многолетних трав и содержание в нем клевера

Показатель	Контроль	Прибавка урожая сена (ц/га)		
		РК	известь	РК + известь
Урожайность сена, ц/га	18,6	15,0	29,5	35,9
Доля клевера в сене, %	25,6	26,0	62,7	80,8

Азотные удобрения под клевер можно не вносить. Исключение составляют клеверозлаковые смеси с небольшим участием клевера. В этом

случае азотные удобрения, наряду с фосфорными и калийными, имеют решающее значение в повышении урожайности трав.

При покровном возделывании многолетних трав основное удобрение, предназначенное для трав, вносят под покровную культуру (50–60 кг/га фосфора и 60–80 – калия) вместе с предназначенными для нее дозами удобрений. Это удобрение – в запас. При посеве покровной культуры вносят суперфосфат (10–15 кг/га P_2O_5). Подкормки трав азотом проводят трав в первый и второй годы пользования ими (2-й и 3-й год жизни). Клевер хорошо отзывается на внесение навоза, компостов (до 20 т/га) под покровную культуру (или 40–60 т/га – под ее предшественник).

После уборки покровной культуры травы быстро отрастают и чувствительны к недостатку в почве фосфора и калия, особенно клевер, так как его корневая система в это время слабо усваивает фосфор из труднорастворимых соединений. Если удобрения под покровную культуру не применяли или их было внесено недостаточно, то после ее уборки травы необходимо подкормить фосфором и калием. Подкормки наиболее целесообразны в ранние сроки жизни многолетних трав. Поверхностное внесение фосфорно-калийных удобрений укрепляет вышедшие из-под покрова ослабленные растения клевера, повышает их зимостойкость и урожайность в последующие годы. На дерново-подзолистых почвах рекомендованы дозы 30 кг/га фосфора и 50–60 – калия (под семенники – по 50–60 кг/га фосфора и калия). Лучшее фосфорное удобрение для поверхностного внесения – суперфосфат, а для основного под покровную культуру – фосфоритная мука. Из калийных удобрений – сульфат калия, калимагнезия, хлористый калий.

Следует учитывать, что доля клевера в травостое на второй год пользования травами может снижаться (до 30–40%), поэтому возрастает потребность в азотных удобрениях. Подкормки азотом проводят рано весной и после укосов (40–60 кг/га). Азот играет важную роль в повышении урожая и качества злаковых трав.

Из микроэлементов для клевера важен бор и молибден. В качестве молибденового удобрения используют молибденизированный суперфосфат или молибдат аммония. Последний применяют для некорневой подкормки растений (50–100 г/га) или при предпосевной обработке семян (20–50 г на гектарную норму семян). Из борных удобрений для предпосевной обработки семян используют борную кислоту (200–300 г/ц семян). Обработку микроэлементами совмещают с обработкой ризоторфином.

При выращивании злаковых трав органические удобрения (30–40 т/га) вносят под покровную культуру или предшественник, фосфор и калий – в запас под покровную культуру или, если их не внесли, – в подкормку осенью или рано весной вместе с азотом (N50–70 P40–50 K50–60). Под второй укос многолетних трав вносят только азот (40–50 кг/га).

Схема распределения удобрений при выращивании многолетних трав в полевых севооборотах приведена на рисунке 48.

При удобрении многолетних трав, выращиваемых на лугах и пастбищах, необходимо учитывать соотношение бобовых и злаковых трав в травостое, способ использования кормового угодья, плодородие почвы, условия увлажнения.

Например, на лугах и пастбищах со злаковым травостоем решающим фактором роста урожая являются азотные удобрения, в то время как они отрицательно влияют на устойчивость бобовых в бобово-злаковых травостоях. Для травосмесей с бобовыми эффективнее фосфорные и калийные удобрения, особенно на торфяно-болотных почвах. Внесение азотных удобрений способствует увеличению доли злаковых в травостое и снижению доли бобового компонента, а фосфорные и калийные удобрения, наоборот, увеличивают долю бобовых в травостое.

Содержание протеина в сене злаковых трав напрямую зависит от доз азота. В травосмесях, состоящих на 40–60% из бобовых трав, эта зависимость не отмечается, на содержание сырого протеина в сене больше влияют фосфорные и калийные удобрения.

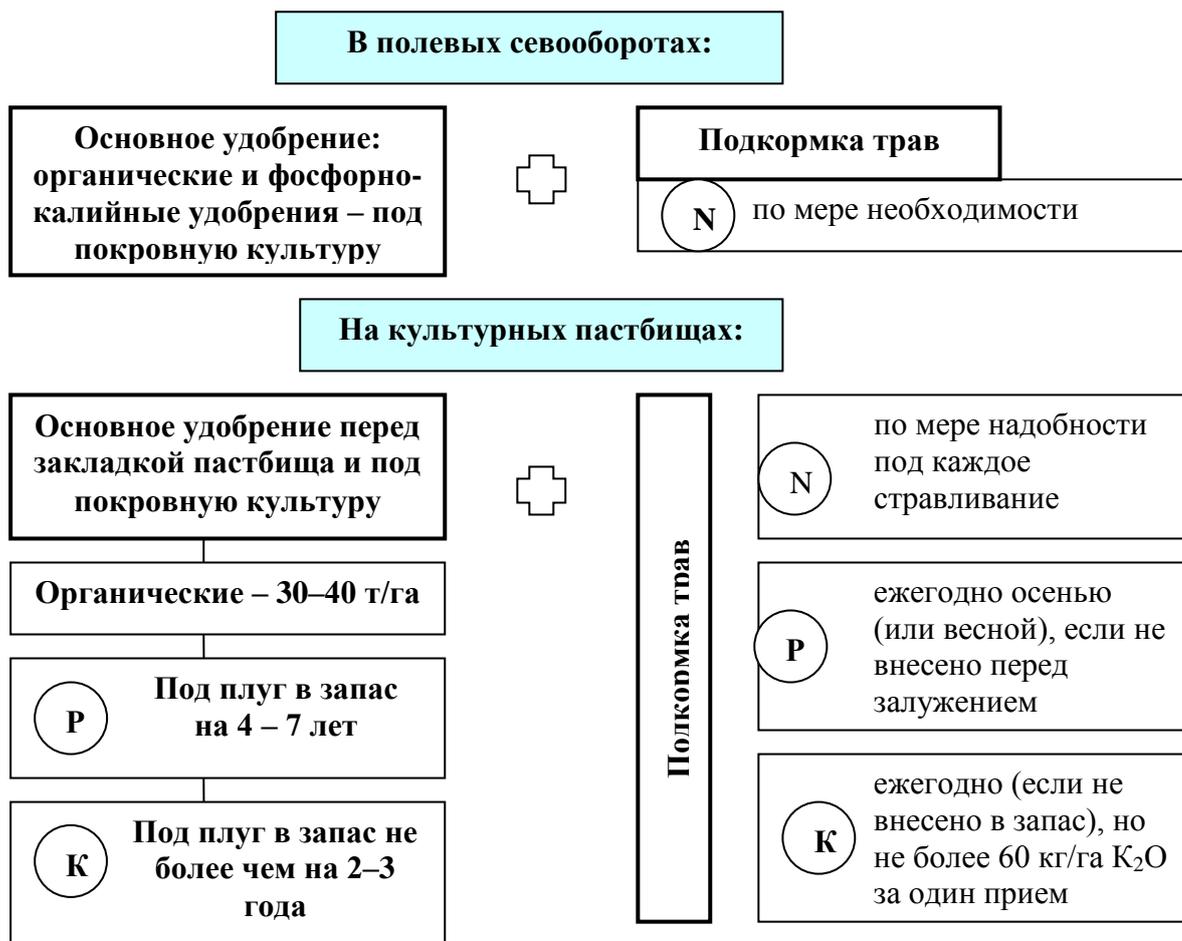


Рисунок 48 – Схема распределения удобрений под многолетние травы

При пастбищном и сенокосном использовании кормовых угодий вынос питательных элементов травами существенно различается. По данным ВНИИ кормов при сенокосном использовании угодья вынос азота урожаем 36 ц/га составил 49,6 кг, а при пастбищном – 91,5 кг.

Действие удобрений зависит от типа сенокоса (пастбища) и плодородия почвы. Например, более высокое действие фосфорных удобрений отмечается на низинных и расположенных на торфяных почвах лугах, а низкое – на суходольных и заливных лугах. На сеяных лугах и пастбищах действие удобрений выше, чем на природных. Но если травостой естественных кормовых угодий не засорен, особенно на заливных лугах, систематическое удобрение существенно повышает урожайность трав.

Дозы минеральных удобрений могут изменяться в широких пределах. На лугах с минеральными почвами удобрения вносят из расчета по 30–40 кг/га азота, фосфора и калия. Луга на осушенных торфяниках, а также бобово-злаковые травосмеси нуждаются в более высоких дозах питательных элементов – до 60–120 кг/га.

На пойменных (заливных) природных сенокосах Нечерноземной зоны, со злаковым и злаково-разнотравным травостоем рекомендуется ежегодно вносить 45–90 кг/га азота и по 30–60 кг/га фосфора и калия. При этом урожайность сена при двухукосном использовании луга может быть 40–70 ц/га. При многоукосном использовании трав дозы азота увеличивают до 120 кг/га, калия – до 90 кг/га. Добавляют и 30–45 кг/га фосфора. Урожаи при этом повышаются до 80–90 ц/га.

На суходольных природных сенокосах со злаковым и разнотравно-злаковым травостоем на дерново-подзолистых почвах дозы азота 45–60 кг/га, фосфора 30–45, калия 30–60 кг/га обеспечивают в среднем урожайность сена 35–40 ц/га.

На низинных сенокосах с преобладанием злаково-разнотравного травостоя на дерново-подзолистых почвах под урожай 40–50 ц/га требуется ежегодно вносить N60–90 P45–60 K60–90.

Сроки внесения удобрений на сенокосах: фосфорные и калийные удобрения вносят осенью, весной или после первого укоса; азотные удобрения при одноукосном использовании – весной, а при 2-х укосном – в два приема: 60–70% весной под первый укос, остальные 30–40% – после скашивания под второй укос. Первая подкормка повышает величину урожая, но мало меняет содержание азотистых веществ в сене, вторая – действует противоположно.

На природных пастбищах (суходольных) при поверхностном улучшении рекомендуемые дозы удобрений N90–120 P45–60 K60–120 приводят к возрастанию их продуктивности с 40–50 до 150–200 ц/га. Если доля многолетних бобовых трав в травостое на природных пастбищах достигает

30%, то дозу фосфора целесообразно увеличить до 75–90 кг/га, калия – до 90–120 кг/га, а азота – уменьшить до 45–60 кг/га.

Дозы азота 30–50 кг/га вносят в один прием – после первого стравливания; 60–120 кг/га – в несколько приемов (по 30–50 кг/га): весной и после очередного стравливания.

Культурные пастбища. Лабораторией азотных удобрений ВИУА установлено, что оптимальная доза азота на пойменных культурных пастбищах при интенсивном их использовании соответствует 60 кг/га под цикл (300 кг/га в сезон при пяти стравливаниях). Это количество обеспечивает получение 7–12 тыс. кормовых единиц с 1 га. Более высокие дозы – нецелесообразны.

Для подкормки культурных пастбищ с бобово-злаковым травостоем без орошения используют N30–40 P30–45 K60–90, при орошении – дозы выше: N40–45 P45–60 K60–120. При злаковом травостое потребность в удобрениях возрастает: без орошения – N180–200 P45–60 K90–120, при орошении – N240–300 P60–90 K120–180.

Фосфорные и калийные удобрения при пастбищном использовании кормового угодья вносят так же, как и при сенокосном – в один прием весной, летом или осенью. Повышенные дозы калийных удобрений (80–120 кг/га K_2O) целесообразно вносить дробно вместе с азотными. Это позволяет избежать слишком высокого содержания калия в травах, которое ведет к неблагоприятному соотношению в пастбищном корме одновалентных и двухвалентных катионов.

Самым радикальным способом повышения продуктивности сенокосов и пастбищ – их *коренное улучшение*, которое связано с проведением культуртехнических работ, вспашки, известкования, если почвы кислые, внесением в запас высоких доз органических и минеральных (фосфорных и калийных) удобрений, внесением азотных удобрений под покровную для трав культуру, проведением подкормок трав. Схема внесения удобрений при создании культурных сенокосов и пастбищ приведена на рисунке 47.

Луговые травы лучше всего растут при pH_{KCl} 5,5–7, поэтому кислые почвы необходимо известковать. При pH_{KCl} 4–4,5 культурные виды трав вытесняются дикими злаками (щучкой дернистой, полевицей обыкновенной и др.). Это приводит к необходимости перепашки луга и повторного залужения.

Известкование способствует развитию бобового компонента, вытесняющему разнотравье, которое приспособлено к кислой почве и не выдерживает конкуренции с бобовыми травами. Доза $CaCO_3$ на минеральных почвах в зависимости от pH_{KCl} и гранулометрического состава колеблется от 2,5 до 9 т/га, на торфяных – от 5 до 13 т/га. Лучше использовать магнийсодержащий известковый материал (например, доломитовую муку).

При коренном улучшении сенокосов и пастбищ вносят от 20 до 40–60 т/га навоза или компостов, фосфорные и калийные удобрения (фосфоритную муку в запас на 4–7 лет и калийные – на 2–3 года). Рано весной и после каждого стравливания проводят подкормки азотом. По данным ВИУА наиболее эффективно использование в подкормках аммиачной селитры. Если перед залужением фосфорно-калийные удобрения не были внесены в запас, то проводят подкормки и этими удобрениями. Лучшей формой фосфорного удобрения при подкормках является суперфосфат, калийного – любое. Можно использовать комплексные удобрения – нитрофоску, нитроаммофоску, азофоску.

В Смоленской области многолетние травы выращивают на площади около 200 тыс. гектаров.

3.7.10 ОВОЩНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Овощные культуры для человека являются незаменимым источником витаминов и минеральных соединений. При оценке качества овощных культур обращают внимание на их товарные свойства (форму, цвет, плотность, вкус, товарность), а также на биохимические показатели (содержание витаминов, сухих веществ, сахаров, минеральных солей, микроэлементов, азотистых

соединений и др.). Немаловажное значение имеет способность к продолжительному хранению и устойчивость к различным заболеваниям.

Минеральные и органические удобрения оказывают значительное (как положительное, так и отрицательное) влияние на качество овощной продукции. Например, повышенные дозы азотных удобрений, особенно при недостатке фосфорно-калийного питания приводят к накоплению нитратов в капусте, повышению поражения ее точечным некрозом, уменьшению плотности кочанов, увеличению отхода при хранении. Калийные удобрения повышают содержание сахаров, улучшают вкусовые качества капусты, ее сохранность при хранении. Внесение под морковь и столовую свеклу свежего навоза вызывает ветвление корнеплодов, что снижает их товарность и ухудшает сохранность при хранении.

Овощные культуры очень требовательны к почвенному плодородию и дают хорошие урожаи на окультуренных дерново-подзолистых, серых лесных, пойменных и торфяных почвах низинного типа. Для них используется своя группировка почв по обеспеченности доступными формами элементов питания (табл. 56) и применяются более высокие дозы удобрений.

Таблица 56 – Группировка дерново-подзолистых почв по содержанию подвижных форм питательных элементов в слое 0–25 см для овощных культур, мг/кг почвы

Класс почвы	Степень обеспеченности	Нитрификационная способность (N-NO ₃ ⁻)	P ₂ O ₅	K ₂ O
			по Кирсанову	
1	Низкая	< 15	< 80	< 80
2	Средняя	16–30	81–150	81–120
3	Повышенная	31–60	150–200	121–170
4	Высокая	> 60	201–300	171–250
5	Очень высокая	-	> 300	> 250

Овощные культуры выносят много питательных элементов. Из почвы они усваивают 5–10% фосфора, 30–60% калия, а из минеральных удобрений – 50–70% азота, 15–30% фосфора и 60–80% калия. Интенсивность поглощения питательных элементов у овощных культур различна: наибольшая – у капусты; медленно поглощают их лук, морковь, столовая свекла; промежуточное положение занимают томаты. Наиболее короткий вегетационный период у

редиса, салата и шпината, поэтому они требуют усиленного питания с первых дней вегетации.

Отношение овощных культур к концентрации солей в почве – неодинаковое. Наиболее чувствительны к ней, особенно на минеральных почвах, лук и чеснок, поэтому в севооборотах с ними лучше сочетать минеральные удобрения с органическими. На торфяных почвах повышенная концентрация солей не так вредна, так как эти почвы имеют высокую емкость поглощения и буферную способность. Свекла, томаты, морковь хорошо переносят минеральные удобрения, и их целесообразно размещать после удобренных навозом предшественников.

Овощные культуры чувствительны к кислотности почвы, наличию в ней подвижных форм алюминия и марганца. Обычно оптимум рН минеральных почв для них составляет 6,0–7,5. Томат, редька и репа более устойчивы к кислотности, чем капуста, свекла, огурцы, морковь, бобы, сельдерей, лук, чеснок, фасоль. Капуста на кислых почвах сильно поражается килой, известкование позволяет освободиться от этой болезни. Эта культура очень чувствительна к содержанию в почве подвижных форм алюминия и марганца.

Отзывчивость овощных культур на удобрения неодинакова. Капуста белокочанная, краснокочанная, брюссельская, китайская, листовая, укроп, салат, шпинат и ревень предъявляют повышенные требования к азоту. Наиболее требовательными культурами к уровню фосфорного питания являются капуста кочанная, цветная, брюссельская, цикорий, тыква, морковь, сельдерей, хрен. К уровню калийного питания среди овощных культур наибольшей требовательностью отличаются капуста белокочанная, цветная, свекла столовая, морковь столовая, тыква, кабачок. Меньшая потребность – у томата, огурца, чеснока, редьки, шпината. Слабая отзывчивость на калийные удобрения у щавеля, салата, лука (на перо).

Основное количество органических и фосфорно-калийных удобрений под овощные культуры вносят осенью под зяблевую вспашку, азотные – весной. Эффективно внесение удобрений при посеве в рядки, особенно при

выращивании мелкосемянных и ранних культур (редис, салат, шпинат, укроп, морковь, свекла). Под морковь и лук в рядки вносят только фосфорные удобрения, а под огурцы, свеклу, томаты, капусту белокочанную – полное минеральное удобрение.

Если до посева были внесены не все удобрения, возможна подкормка растений азотом, а при необходимости – и полным удобрением во время междурядной обработки почвы. При первой подкормке удобрения вносят на расстояние 6–8 см от растений на глубину 5–8 см, при второй – в середину междурядья на глубину 10–12 см.

Капуста белокочанная хорошо растет на нейтральных почвах с $pH_{КСИ}$ 6,5–7,2. На кислых почвах она поражается килой, особенно ранняя. Капуста потребляет питательные вещества на протяжении всего вегетационного периода (от 60 до 140 дней, в зависимости от сорта). В первый месяц после высадки рассады капуста растет медленно и поглощает всего около 10% азота, 7 фосфора и 8% калия. Максимальное количество питательных элементов (около 80% азота, 86 фосфора и 84% калия от максимальной потребности) она поглощает в период формирования кочана (40–50 дней). В расчете на 1 т кочанов белокочанная капуста в условиях дерново-подзолистых почв в среднем выносит 3,3 кг азота, 1,3 – фосфора и 4,4 кг калия. Таким образом, при урожайности 40–60 т/га вынос составляет около 130–200 кг азота, 50–80 кг фосфора и 180–260 кг калия. Это калиелюбивая культура. Отношение $N:P_2O_5:K_2O$ в выносе составляет 1:0,4:1,3.

В зависимости от плодородия почвы и величины планируемой урожайности дозы минеральных удобрений под капусту при внесении 40 т/га навоза колеблются: азота – от 60 до 120 кг/га, фосфора – от 30 до 120, калия – от 30 до 150 кг/га. Такие дозы обеспечивают урожайность капусты 40–60 т/га.

Навоз, фосфорные и калийные удобрения под капусту вносят осенью или весной под вспашку, азотные – весной, незадолго до высадки рассады. Это удобрение удовлетворяет потребности растений в питательных элементах в

течение всего периода роста и развития, особенно в период максимального поглощения.

При высадке рассады эффективно использование небольшой дозы полного удобрения (по 10–15 кг/га д. в.). Лучше использовать комплексное удобрение (нитрофоску, нитроаммофоску и др.), которое обеспечивает растения питанием в течение первого месяца и способно повысить урожайность капусты на 5 т/га.

Подкормки средне- и позднеспелых сортов капусты проводят азотными и калийными удобрениями при планировании высоких урожаев (более 60 т/га), а также при выращивании ее на легких почвах (при этом лучше использовать магнийсодержащие калийные удобрения). Целесообразно через три недели после высадки рассады проведение некорневой подкормки капусты раствором макро- и микроэлементов. Для этого в 400 л воды (расход на 1 га) растворяют 6 кг мочевины, 3 кг сульфата калия, 4 кг сульфата магния и по 50 г молибденового кислого аммония, сульфатов цинка, меди и железа.

Столовые корнеплоды (морковь, свекла). В расчете на 1 т урожая морковь на дерново-подзолистых почвах выносит 2,3 кг азота, 1,0 – фосфора и 3,8 кг калия, свекла – 2,7, 1,5 и 4,3 кг, соответственно. Это калиелюбивые культуры. Соотношение N:P₂O₅:K₂O в урожае моркови составляет 1:0,4:1,6, свеклы – 1:0,56:1,6.

Динамика поглощения их тесно связана с нарастанием сухой биомассы, и ее необходимо учитывать при разработке системы удобрения культур. Наилучшее обеспечение растений питанием имеет место при сочетании внесения удобрений в разные сроки и на разную глубину.

В первый период роста морковь и свекла поглощают небольшое количество питательных элементов. В это время питание идет из неглубоких слоев почвы, где расположены невысокие дозы удобрений, внесенных при посеве в рядки. Наибольшее количество питательных элементов корнеплоды поглощают в период интенсивного роста. Питание в это время обеспечивается

удобрением, внесенным под глубокую обработку почвы осенью или ранней весной до посева (основное удобрение).

Морковь и свекла хорошо растут на почвах со слабокислой и нейтральной реакцией и положительно отзываются на известкование кислых почв. При известковании снижается подвижность многих микроэлементов, в том числе бора, при недостатке которого столовая свекла снижает урожайность и может заболеть сердцевинной и ракообразной гнилью (рис. 49, 50).



Рисунок 49 – «Гниль сердечка» сахарной свеклы вследствие борного дефицита
(W. Bergmann, 1983)

Морковь отрицательно реагирует на высокие концентрации почвенного раствора. Предельная доза азота под морковь 90 кг/га (на торфяниках – 30–40 кг), столовую свеклу – 90 кг/га (на торфяниках – 40–70 кг). При более высоких дозах ухудшается качество корнеплодов, происходит накопление в них нитратов.

Столовые корнеплоды положительно реагируют на натрий, поэтому калийная соль имеет преимущество перед другими калийными удобрениями.

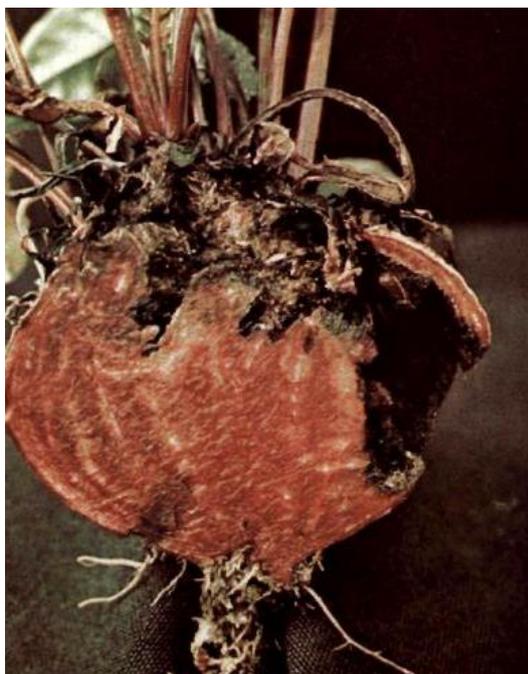


Рисунок 50 – Ракообразная гниль корнеплода столовой свеклы при дефиците бора
(W. Bergmann, 1983)

Морковь и свекла отзывчивы на внесение перепревшего навоза, однако нельзя использовать свежий навоз, это ведет к ветвлению корнеплодов, ухудшению их формы, особенно у моркови, снижению лежкости и товарной ценности продукции. Поэтому столовые корнеплоды рекомендуют размещать на второй год после внесения органических удобрений.

Система удобрения корнеплодов складывается из основного удобрения и небольших доз минеральных удобрений, внесенных в рядки вместе с высевом семян. На дерново-подзолистых почвах со средней обеспеченностью подвижными формами питательных элементов под морковь вносят P45–60 K60–90 осенью под вспашку, N45–60 – весной под культивацию, N10P10K10 – в рядки при посеве; под столовую свеклу – соответственно: P60–80 K120–140, N90 и N10P10K10. На легких почвах фосфор основного удобрения вносят осенью под вспашку, азот и калий – весной под культивацию. Лучшим калийным удобрением в данном случае является калимагnezия, в нем кроме калия есть и магний.

На посевах свеклы можно проводить две, а моркови – одну подкормку минеральными удобрениями. Первую подкормку моркови проводят – через

две-три недели после всходов, столовой свеклы – при появлении одного–двух настоящих листочков, вторую – в начале формирования корнеплода свеклы.

Огурцы имеют короткий вегетационный период (от 40 до 75 дней в зависимости от сорта) с интенсивным потреблением питательных элементов. Слабо развитая корневая система расположена в верхнем слое почвы, что делает огурец очень требовательными к плодородию почвы. Лучшими почвами являются окультуренные и плодородные с нейтральной реакцией среды (pH_{KCl} 6,5–7,0). При низком содержании в почве питательных элементов огурец растет плохо и высокий урожай получить не удастся.

Динамика поглощения питательных элементов зависит от интенсивности накопления растениями сухой биомассы. В первые 15–20 дней растения огурца поглощают небольшое количество азота, фосфора и калия, а в период интенсивного роста вегетативных органов и образования плодов, когда происходит самое сильное нарастание сухой биомассы, поглощение питательных элементов – максимальное. В расчете на 1 т плодов с учетом вегетативной биомассы огурцы выносят 3,0–3,2 кг азота, 1,5–1,9 – фосфора и 4,4–4,5 кг калия.

Огурец очень чувствителен к концентрации солей в почвенном растворе, поэтому под него лучше использовать органические удобрения, на повышенные дозы которых он очень отзывчив. Лучше использовать свежий навоз, так как он улучшает тепловой режим, усиливает микробиологическую активность почвы, повышает снабжение растений углекислотой, которая хорошо усваивается стелющимися стеблями и листьями. Хороший эффект дает сочетание органических удобрений с минеральными (лучше использовать высококонцентрированные удобрения).

Учитывая короткий вегетационный период, система удобрения огурца на почвах со средним содержанием подвижных форм питательных элементов складывается из трех звеньев – основного, рядкового удобрения и подкормки. Навоз (40–60 т/га) и фосфорно-калийные удобрения (P60K60–90) лучше вносить осенью под вспашку, азотные (N60) – весной под культивацию, при

посеве – N10P10K10, в фазу двух–трех листьев – N20–30 в подкормку (корневую). На легких почвах все основное удобрение вносят весной под культивацию или дискование. Предельно допустимая доза азота под огурцы – 90 кг/га, ее повышение приводит к накоплению в плодах нитратов. ПДК нитратов в плодах огурца открытого грунта 150, защищенного – 300 мг/кг сырой массы.

При высокой и очень высокой обеспеченности почвы питательными элементами под огурец используют только органические удобрения и азотные, а рядковое удобрение и подкормки – неэффективны.

Хороший эффект дает обработка семян 0,1%-ным раствором борной кислоты.

Томаты также относятся к калиелюбивым культурам. В расчете на 1 т плодов ранние сорта потребляют 2,0–3,5 кг азота, 0,7–0,9 – фосфора и 4–5 кг калия, среднеспелые – соответственно: 3,0–4,0, 0,8–1,2 и 5,0–6,0 кг. Оптимальный интервал кислотности почвы для томата соответствует pH_{KCl} 5,6–6,7. Томаты плохо переносят избыток кальция и чувствительны к его недостатку. При недостатке кальция на верхушках плодов томата образуется сухая гниль в виде черных округлых пятен (рис. 51).

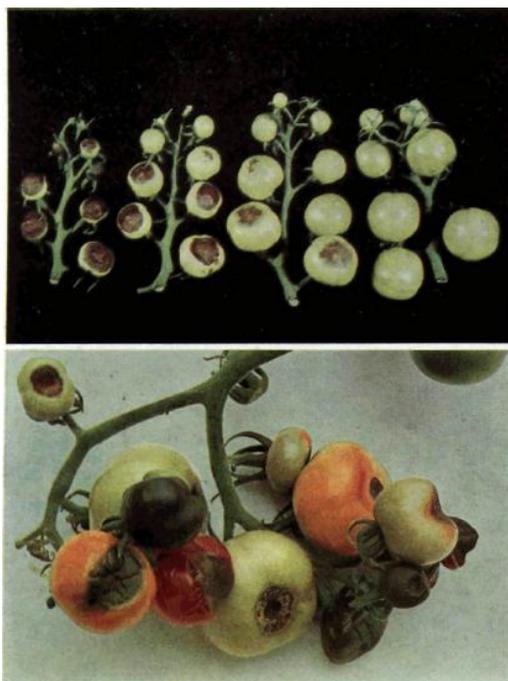


Рисунок 50 – Плоды томата при разном уровне снабжения кальцием
(W. Bergmann, 1983)

Корневая система томатов мочковатая, хорошо развитая, способная проникать на глубину 100–120 см и охватывать большой объем почвы. При выращивании томатов важно правильно организовать их питание в строгом соответствии с потребностями растений.

Наиболее активно азот и калий поглощаются томатами в период интенсивного накопления органической массы. От избытка азотных удобрений интенсивно нарастает вегетативная масса, образуются пасынки и затягивается созревание плодов. Если на плодах около плодоножки появляется «зеленый воротник», это свидетельствует о недостатке питания растений калием или о несбалансированном азотно-калийном питании (с преобладанием азота) (рис. 52). Плоды остаются неравномерно окрашенными и жесткими. Особенно недопустим избыток азота в начале роста растений, так как сильное развитие вегетативной массы ослабляет плодоношение.



Рисунок 52 – Плоды томатов с «зеленым воротником» вследствие К-дефицита

(W. Bergmann, 1983)

Томаты очень отзывчивы на фосфорные удобрения. Поглощение фосфора заканчивается к окончанию нарастания листовой массы, когда начинают завязываться плоды. На фоне умеренного азотного питания фосфорно-

калийные удобрения способствуют дружному созреванию плодов и улучшению их качества (накоплению сахаров, витамина С, снижению содержания нитратов). В плодах к созреванию накапливается до 70% азота и фосфора и до 90% калия от всего поглощенного растениями количества.

Система удобрения томата складывается из основного удобрения, припосевного (при выращивании рассады) и подкормок. Под томаты можно вносить органические удобрения (30 т/га перегноя, перепревшего навоза или компоста). Хорошие урожаи получают и при размещении этой культуры по удобренному навозом предшественнику. На окультуренных почвах можно ограничиться только минеральными удобрениями, но органо-минеральная система удобрения является предпочтительней.

На почвах с низким содержанием микроэлементов используют микроудобрения (борные, цинковые, марганцевые). Часто появляется необходимость во внесении борных удобрений, особенно при известковании почв и на нейтральных почвах легкого гранулометрического состава. Они повышают содержание в плодах сахаров и витамина С. Их вносят в почву до высадки рассады в дозах 1–2 кг/га бора. При некорневой подкормке используют 500 г/га борной кислоты в виде водного раствора.

Репчатый лук хорошо растет на окультуренных супесчаных и легкосуглинистых почвах, на низинных торфяниках. Оптимальной для него является близкая к нейтральной реакция среды (рН 6–7).

Корневая система у лука развита слабо, поэтому он предъявляет повышенные требования к наличию в почве питательных элементов в доступной форме. В расчете на 1 т урожая лук выносит 3 кг азота, 1,3 – фосфора и 4 кг калия. Он чувствителен к повышенной концентрации солей в почве, в связи с этим минеральные удобрения следует вносить несколько раз, используя подкормки, а лучше использовать органо-минеральную систему удобрения. Самые высокие урожаи лука получают, когда его выращивают по последствию органических удобрений, а минеральные удобрения вносят в средних дозах. При внесении непосредственно под лук органические

удобрения, особенно свежий навоз, вызывают сильный рост пера, задерживают вызревание луковиц, такой лук плохо хранится.

В первой половине вегетации лук использует больше азота, а во время формирования луковиц – фосфора и калия. Избыток азота во второй половине вегетации задерживает созревание луковиц. Для образования ароматических веществ луку необходима сера, поэтому лучшим азотным удобрением является сульфат аммония, а калийным – сульфат калия.

Система удобрения репчатого лука складывается из основного, припосевного удобрения и подкормки. Например, при выращивании лука на почвах со средней обеспеченностью питательными элементами и внесении под предшественник 40–60 т/га компоста или навоза под урожай лука 20 т/га до посадки (посева) вносят по 90 кг/га азота и калия и 80 кг/га фосфора в виде минеральных удобрений. При посеве семян (чернушки) или посадке севка вносят 10–20 кг/га фосфора в виде суперфосфата. Подкормки следует проводить в первой половине лета (иначе не вызревают луковицы): спустя месяц после посадки севком и 2–2,5 месяца после посева семян (20 кг/га азота и 30 кг/га калия).

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите об основных биологических особенностях растений, влияющих на разработку системы удобрения рассмотренных сельскохозяйственных культур.
2. Сформулируйте особенности известкования кислых почв в севооборотах со льном и картофелем, в овощных севооборотах?
3. В чем преимущество органо-минеральной системы удобрения в севообороте?
4. Назовите дозы рядкового удобрения под различные сельскохозяйственные культуры.
5. Какие виды диагностики используют при уточнении доз удобрений для подкормок озимых зерновых?
6. Под какие культуры эффективно дробное внесение азотных удобрений?
7. Расскажите об особенностях применения удобрений под озимые и яровые зерновые.
8. Под какие культуры целесообразно вносить органические удобрения и почему?
9. Расскажите об особенностях применения удобрений под лен, картофель и кормовые корнеплоды.
10. Чем отличается коренное улучшение лугов и пастбищ от поверхностного?
11. Какие факторы влияют на устойчивость бобового компонента в смешанном травостое многолетних трав?
12. Как применяют органические и минеральные удобрения под капусту, столовые корнеплоды и репчатый лук?

3.8 УДОБРЕНИЯ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ

Важнейшей задачей применения удобрений является не только повышение урожаев сельскохозяйственных культур и плодородия почвы, но и получение высококачественной продукции.

Растения состоит из сухого вещества и воды: в вегетативных органах содержание воды колеблется в большинстве случаев от 70 до 95%, а в семенах – от 5 до 15%. Сухое вещество на 90–95% состоит из органических соединений и на 5–10% – из минеральных солей. Органические вещества представлены белками, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами (табл. 57).

Таблица 57 – Средний химический состав урожая сельскохозяйственных растений, %
(Б.П. Плешков, 1975)

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

Биосинтез белков и других азотистых соединений и биосинтез жиров или углеводов являются разнонаправленными процессами. При усилении одного из них снижается синтез другого. С помощью удобрений можно в определенной

степени изменять направленность процессов обмена веществ и регулировать накопление в растениях полезных для человека органических веществ.

Азот входит в состав простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, липидов, витаминов, фосфатидов, алкалоидов, ферментов, гормонов, хлорофилла и других органических соединений, без которых немислим обмен веществ. В растениях азот содержится и в минеральной форме (нитратный, аммонийный азот). Отсюда ясно, что уровень питания растений азотом напрямую связан с качеством урожая, причем азотные удобрения оказывают на него наибольшее влияние. Однако это справедливо только при правильном его использовании. Например, использование высоких доз азота может вызывать полегание растений, высокий уровень поражения их болезнями и вредителями, снижение урожайности и ухудшение качества урожая за счет накопления минеральных форм азота, прежде всего, нитратов, снижения содержания углеводов, витаминов, незаменимых аминокислот в белке и его биологической ценности. Особенно опасен избыток азота при недостатке калия и фосфора.

Фосфор участвует в синтезе и распаде сахарозы, крахмала, жиров, несколько меньше – белков. Он входит в состав таких соединений как РНК, ДНК, нуклеопротеиды, АТФ, АДФ, фосфатиды, сахарофосфаты, фитин, а также находится в неорганической форме в виде солей ортофосфорной кислоты, которые исполняют роль буферной системы клеточного сока. Изменяя соотношение азота к фосфору, можно регулировать интенсивность и направленность процессов обмена веществ, способствуя накоплению в растениях белков или углеводов. Роль фосфорных удобрений в формировании урожая и качества продукции приведена на рисунке 53.

Калий в растениях находится преимущественно в ионной форме, выполняет важнейшие физиологические функции (рис. 54), приводя к повышению урожайности, улучшению качества продукции, повышению устойчивости растений к полеганию, поражению болезнями и вредителями, неблагоприятным погодным условиям (зимостойкость, морозоустойчивость).



Рисунок 53 – Роль фосфорных удобрений в формировании урожая и качества продукции

Он усиливает накопление в растениях крахмала, сахаров, жиров, высокомолекулярных углеводов – целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновых веществ, что способствует повышению устойчивости растений к полеганию, у льна повышается качество волокна. При аммиачном питании растений калий может способствовать синтезу белков.

Большую роль в формировании качественной продукции растениеводства играют **микроэлементы**. *Бор* улучшает углеводный обмен в растениях, влияет на белковый и нуклеиновый обмен. *Медь* входит в состав нитритредуктазы, гипонитритредуктазы и редуктаз оксидов азота, чем определяется ее участие в азотном обмене растений. *Марганец* повышает содержание сахаров, *молибден* участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, синтезе пигментов и витаминов. *Цинк* способствует накоплению в растениях сахарозы и крахмала, при его недостатке нарушается синтез белков и снижается их качество. *Кобальтовые* удобрения повышают диетические качества продукции, благодаря увеличению содержания витамина В₁₂.



Рисунок 54 – Роль калийных удобрений в формировании урожая и качества продукции

Основным источником **растительных белков** являются зерновые колосовые и зернобобовые культуры. Содержание белка в озимых и яровых зерновых культурах является, прежде всего, генотипическим признаком. С помощью некорневых подкормок в период колошения–цветения растений можно его повысить на 0,5–2%. При оптимальных условиях минерального питания содержание белка в зерне озимой пшеницы в Нечерноземной зоне России составляет 12–13%, озимой ржи – 9–11,5, ячменя – 10–13, овса – 10–11,5%. Содержание белка в зерне определяет его пищевую ценность. Для выпечки хлеба хорошего качества в муке должно быть не менее 14% белка. К основным технологическим показателями качества зерна относится также стекловидность, содержание крахмала, клейковины, витаминов.

На хлебозаводах качество пшеницы определяют по содержанию и качеству клейковины и результатам лабораторной выпечки хлеба. Клейковина – это белковый сгусток, отделяющийся от крахмала в процессе замешивания теста. Ее содержание изменяется от 35–40% у высокобелковых сортов пшеницы и до 15–20% – у низкобелковых. О качестве сырой клейковины можно судить по ее консистенции, цвету, растяжимости и эластичности. Клейковина

высокого качества имеет светлый (желтоватый) цвет, среднюю растяжимость, хорошую эластичность и дольчатую или пористую консистенцию после отмывания.

Наибольшее влияние на качество урожая зерновых хлебов оказывают азотные удобрения. Внесение навоза повышает урожайность пшеницы, но не всегда положительно сказывается на качестве зерна. Действие фосфорных и калийных удобрений на содержание в зерне белка неустойчиво, но при правильно подобранном соотношении N : P : K они оказывают положительное действие.

Хотя повышенные дозы азота на фоне фосфорно-калийных удобрений повышают содержание белка и клейковины, действие их на качество зерна пшеницы и ржи неоднозначно. Если у озимой пшеницы с повышением содержания белка и клейковины улучшается технологическое качество зерна, то у ржи, наоборот, с превышением определенного предела содержания белка хлебопекарные качества зерна ухудшаются, так как повышается активность гидролитических ферментов. По данным зарубежных исследователей, дозы азота под озимую рожь должны быть такими, чтобы содержание белка в зерне не превышало 11,5%. Зерно озимой ржи, выращенной на дерново-подзолистых почвах, содержит 9,4–11,5% белка, то есть, меньше, чем у озимой пшеницы, но вместе с тем в его белке в 1,5–2 раза больше незаменимых аминокислот (лизина, валина, треонина).

Важной характеристикой качества белка является его аминокислотный состав. Восемь из 20 известных аминокислот являются *незаменимыми*, так как не могут синтезироваться в организме человека и животных и должны попадать в него 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). При низком содержании в пище этих аминокислот отмечаются нарушения здоровья. При недостатке лизина появляется тошнота, головная боль, головокружение, чувствительность к шуму, при дефиците метионина – нарушается деятельность печени, некоторых желез

внутренней секреции, при нехватке триптофана – ухудшается аппетит, метионина – развивается атеросклероз.

Аминокислотный состав белков разных культур неоднороден. Например, в белках зерновых колосовых содержится мало лизина и триптофана, в белках семян зернобобовых культур – недостаточно метионина, картофеля – валина.

Сбалансированность белков по аминокислотному составу лежит в основе их биологической ценности (БЦБ), которая определяется по отношению к белку куриного яйца, являющегося биологически полноценным, так же, как белок молока. Внесение азотных удобрений, хотя и повышает содержание белка в зерне, но уменьшает содержание лизина, поэтому биологическая ценность белка снижается.

Зернобобовые культуры являются ценным источником растительного белка. Они содержат его больше и качество белка выше, чем у зерновых культур. Например, белок сои по аминокислотному составу близок к совершенству, его биологическая ценность выше, чем белка зерновых культур. Если БЦБ яиц и молока принять за 100%, то у пшеницы она составит, в среднем, 65, у ржи – 72, овса – 78, риса – 85, у кукурузы – 55%.

Качество бобовых культур можно регулировать применением фосфорно-калийных удобрений на фоне невысоких доз азота (15–30 кг/га для стимуляции развития клубеньковых бактерий на корнях бобовых), а также внесением микроэлементов, и прежде всего – молибдена. В любом случае, питание растений азотом, фосфором и калием должно быть сбалансированным, отвечающим потребностям растений и наличию соответствующих элементов питания в почве.

Основной источник растительных **жиров** – масличные культуры – рапс, горчица, подсолнечник, лен и др. Обычно между содержанием белков и жиров существует обратная зависимость: чем больше белка, тем меньше жира. В образовании жиров в растениях участвуют углеводы. На накопление жиров в растениях большое влияние оказывают фосфорные и калийные удобрения, которые могут на 2–4% повысить их содержание.

Качество растительных масел зависит от содержания в них жирных ненасыщенных кислот (их иногда называют витамином F). Азотные удобрения снижают содержание жирных ненасыщенных кислот, а фосфорные и калийные – повышают.

С применением удобрений связан еще один показатель качества растительной продукции – содержание в ней **нитратов**, которые могут накапливаться при избыточном питании растений азотом. Содержание нитратов в продукции нормируется, так, в зерне для зернофуражных целей их не должно быть более 300 мг/кг. По данным шведских исследователей с зерновыми продуктами и хлебобулочными изделиями в организм человека поступает примерно 2% суточного потребления нитратов.

Разные культуры и сорта накапливают неодинаковое количество нитратов. Больше их аккумулируют культуры с незавершенным циклом развития, когда товарная спелость наступает раньше физиологической (например, у огурца, кабачка). По мере созревания растений содержание нитратов уменьшается, так как уменьшается их поступление в растения, а уже поступившие – вовлекаются в обмен азотистых веществ. В репродуктивных органах нитраты отсутствуют или содержатся в гораздо меньших количествах, чем в вегетативных. В наибольших количествах они содержатся в частях и органах, транспортирующих питательные вещества (корнях, стеблях, черешках, жилках), в меньших – в листовых пластинках. Такая локализация связана с разной скоростью транспортных и синтетических процессов в органах растений.

Овощные культуры можно расположить в следующий ряд в порядке уменьшения степени накопления нитратов: шпинат, салат, свекла, капуста, укроп, сельдерей, щавель, петрушка, горчица, редис, морковь, редька, лук, репа, брюква, тыква, картофель, патиссоны, арбузы, дыни, кабачки, огурцы, баклажаны, фасоль, чеснок, перец, томаты, горошек.

Сорта, родиной которых являются северные и средние широты, накапливают больше нитратов, чем сорта южного происхождения; более

опасны тепличные овощи, чем овощи открытого грунта, из-за меньшей освещенности.

Различные части овощей имеют неодинаковое содержание нитратов. В кожуре клубней картофеля их больше, чем в середине; в кочерыжке капусты – в несколько раз больше, чем в листьях; в сердцевине моркови, мякоти огурца, кабачка – больше, чем в поверхностных слоях. Это необходимо учитывать при приготовлении овощных блюд. На 25–30% снижает содержание нитратов в клубнях картофеля, в моркови, столовой свекле, капусте выдерживание их в воде в течение одного часа. При варке картофеля в отвар переходит до 80% нитратов, моркови и капусты – 70, столовой свеклы – до 40%. Снижает содержание нитратов хранение картофеля, квашение капусты, соление огурцов и других овощей.

Содержание нитратов в овощной продукции нормируется. Предельно допустимые концентрации (ПДК) нитратов для овощей и фруктов следующие (мг/кг сырого продукта):

- открытый грунт: картофель – 250, капуста белокочанная – 500, кабачки, лек-перо – 600, лук-репка – 80, томаты, огурцы – 150, морковь поздняя – 250, свекла столовая – 1400, яблоки, груши – 50, арбузы – 60, дыни – 90, перец сладкий – 200, виноград - 60, листовые овощи – 2000;

- овощи защищенного грунта: томаты – 300, огурцы – 400, салат, щавель, укроп, петрушка – 3000, лук-перо – 800.

Установлены также ограничения содержания нитратов и нитритов в кормах для животных. Предельно допустимая концентрация нитратов в силосе и сенаже – 500 мг, сене – 1000, зернофураже – 300, в кормовой свекле – 2000 мг/кг. Предельное содержание нитритов в кормах составляет 5–10 мг/кг.

Есть мнение, что такое нормирование содержания нитратов в продукции не в полной мере оправдано, так как для овощей и фруктов, накапливающих нитраты в незначительных количествах (огурцы, томаты, яблоки, груши, дыни, виноград), нет необходимости вводить нормативы ПДК. Чем больше различных овощей подвергается контролю, тем сложнее его осуществить, а без четкого,

надежного контроля вводить подобные ограничения бессмысленно. На Западе существует система регламентирования содержания нитратов в целом по продуктам питания без разделения на отдельные виды продукции.

Более постоянными являются данные о содержании нитратов в мясных продуктах (табл. 58).

Таблица 58 – Содержание нитратов и нитритов в мясной продукции (данные ВОЗ)

Мясные продукты	Нитраты, мг/кг	Нитриты, мг/кг
Окорок	133 – 303	9 – 26
Ветчина	370 – 510	7 – 150
Говядина	59 – 214	3 – 47
Колбасные изделия	53 – 101	22 – 62
Солонина	118 – 135	18 – 208

Все причины накопления нитратов в растениях условно можно разделить на две группы: биологические и хозяйственные. Развитие растений эволюционно проходило в условиях дефицита азота, что выработало биологический механизм запасания его впрок.

Основная причина избыточного накопления нитратов в растениях обусловлена хозяйственной деятельностью человека – дозы азота, несбалансированность его с другими элементами минерального питания. На плодородных почвах растения могут накапливать нитраты и без внесения азотных удобрений.

На содержание нитратов в продукции влияют не только азотные удобрения, но и режим освещенности, температура почвы и воздуха, количество и динамика осадков, засуха и застойное переувлажнение, уплотнение почвы, ее слабая биологическая активность и другие факторы, которые, порой, трудно регулировать. Например, одни и те же дозы азотных удобрений могут быть слишком высокими в условиях холодного и пасмурного лета и не вызывать отрицательных последствий в год с большим количеством солнечных дней.

К регулируемым факторам, влияющим на накопление нитратов в растениях, относится обеспеченность растений фосфором, калием, и

микроэлементами. В исследованиях Смоленской ГСХА внесение фосфорных удобрений при выращивании томата F1 Гамаюн ТmCF в защищенном грунте привело к снижению содержания нитратов в плодах в 2,3–3,3 раза (при фоновом – 112 мг/кг), а отношение «витамин С : нитраты» повысилось в 2,5–3,5 раза (в контрольном варианте – 1,1). Витамин С препятствует реакциям нитрозирования в организме человека.

Установлено участие молибдена, кобальта, бора, марганца, железа и серы в ассимиляции нитратов и снижении их накопления в урожае.

При сбалансированном минеральном питании в растениях происходят полезные изменения в содержании витаминов, эфирных масел, алкалоидов, органических кислот. Поэтому грамотное применение удобрений является основой получения не только высоких урожаев, но и высокого качества продукции растениеводства.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите показатели качества растениеводческой продукции.
2. Расскажите о роли макро- и микроэлементов в формировании качества урожая
3. Какие элементы питания оказывают наиболее существенное влияние на содержание белка в зерне, крахмала в клубнях, жиров в семенах масличных культур?
4. По каким показателям определяют качество белков и жиров?
5. Перечислите незаменимые аминокислоты и суточную потребность в них человека.

3.9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТАХ

Проектирование системы удобрения должен включать разработку общей схемы размещения удобрений по полям севооборота на ротацию (или время пользования угодьями), составление годовых планов их применения.

Систему удобрения целесообразно разрабатывать в следующем порядке:

- составление плана химической мелиорации почв (для Нечерноземной зоны – известкования и фосфоритования кислых почв);
- разработка плана накопления и размещения органических удобрений;
- разработка общей схемы системы удобрения на ротацию севооборота на основании показателей плодородия почв полей севооборота (угодья);
- определение баланса питательных веществ по данным их выноса урожаями, поступления с удобрениями и биологической фиксации азота;
- разработка годовых планов применения удобрений, в которых приводятся дозы, способы и приемы внесения удобрений по полям (угодьям) с учетом конкретного плодородия почв каждого поля;
- корректировка доз удобрений на основе данных растительной диагностики питания сельскохозяйственных культур;
- определение потребности в рабочей силе, технике (тракторах, автомобилях, машинах по смешиванию удобрений и внесению в почву) для выполнения годового плана применения удобрений;
- определение агротехнической и экономической эффективности разработанных систем удобрения.

Так как известкование кислых почв, накопление и размещение органических удобрений были изложены ранее, остановимся на определении общей потребности в удобрениях и составлении годовых планов их применения.

Разработка общей схемы системы удобрения. В общей схеме системы удобрения закладываются ее принципиальные основы: обоснование величины планируемых урожаев, места внесения извести и органических удобрений,

потребности в минеральных удобрениях и оптимизации агрохимических свойств почвы.

При планировании величины урожайности сельскохозяйственных культур за основу берут уровень окультуренности почв, обеспеченность севооборота (угодя) удобрениями и сельскохозяйственной техникой.

Система удобрения может разрабатываться по двум сценариям: при неограниченной обеспеченности удобрениями и при ограниченных (заданных) их ресурсах. В первом случае определяют общую потребность в удобрениях для получения запланированных урожаев (прибавок) с распределением их по культурам, дозам, приемам и срокам внесения, а во втором – сначала прибавки урожаев, которые можно получить при заданной обеспеченности удобрениями, и затем распределяют удобрения по культурам, дозам и срокам внесения. Общую схему системы удобрения разрабатывают на ротацию севооборота.

При неограниченной обеспеченности удобрениями разработку можно вести двумя способами:

1 – с учетом средневзвешенного плодородия почвы всей севооборотной площади с получением средних годовых доз питательных элементов для каждой культуры, которые в дальнейшем корректируются в годовых планах с учетом фактического размещения культур по полям севооборота и плодородия почв этих полей;

2 – с учетом плодородия почвы каждого конкретного поля с получением годовых доз удобрений всех культур севооборота на каждом поле.

При ограниченных (заданных) ресурсах удобрений их дозы определяют в соответствии с плодородием почвы каждого конкретного поля. По сути – это одновременно является и годовым планом применения удобрений. Под ведущие (конъюнктурные) 1–2 и более культуры севооборота любым из методов расчета определяют дозы удобрений на запланированный урожай. Остальные культуры получают ограниченное количество удобрений (только рядковое, подкормку, небольшие дозы основного удобрения) в зависимости от их остатка. При этом способе устанавливается и возможная прибавка урожаев

культур от удобрений. Разумеется, что у культур, получивших ограниченное количество удобрений, она будет небольшой, а у культур, не получивших их, она будет отсутствовать.

Составление годовых и календарных планов применения удобрений.

Система удобрения культур севооборота ежегодно уточняется в годовых планах в соответствии с фактическим чередованием культур на конкретных полях, различиями в плодородии почв этих полей, колебаниями погодных и агротехнических условий отдельных лет, изменениями в накоплении органических и приобретении минеральных удобрений. В годовых планах удобрения распределяют по срокам, устанавливают приемы и способы их внесения и заделки в почву, определяют основные машины для выполнения этих операций.

При распределении удобрений по приемам внесения *из общего количества удобрений, определенных для конкретной культуры, выделяют рекомендуемые дозы для внесения в рядки при посеве, в подкормку, а остальное количество планируют для основного внесения* в сроки, соответствующие требованиям культур и особенностям поведения удобрений в почве. В Нечерноземной зоне, как правило, фосфорно-калийные удобрения на суглинистых почвах в качестве основного рекомендуется вносить осенью, а азотные – весной.

В годовом плане указывают площади полей, культуры, урожайность, дозы питательных веществ для каждой культуры и потребность на всю севооборотную площадь, приемы внесения удобрений.

На основе годового плана, составляется календарный план и план организационно-хозяйственных мероприятий по применению удобрений. В них указывается последовательность выполнения операций по внесению удобрений на всех полях севооборота, их календарные сроки, объем конкретных удобрений для внесения, определяется сезонная и годовая потребность в них. Разрабатывается полный технологический цикл работ, связанных с использованием удобрений (подготовка удобрений к внесению, погрузка в

транспортные средства, транспортировка, внесение на поле), а также потребность в рабочей силе, технических средствах.

При распределении конкретных форм и видов минеральных удобрений учитываются особенности почвенных условий и культур. Алгоритм распределения предусматривает подбор наиболее эффективной формы каждого вида удобрения под удобряемую культуру в соответствии со сроками и приемами внесения. Например, для озимых зерновых культур лучшими формами удобрений для основного внесения являются аммофос, аммофосфат, ЖКУ, суперфосфат, суперфос; для первой ранневесенней подкормки – КАС, КАС с медью, селитра аммиачная, карбамид, сульфат аммония, для второй подкормки в период начала трубкавания – КАС с медью, селитра аммиачная, карбамид, КАС (табл. 59).

Таблица 59 – Приоритеты минеральных удобрений при внесении под разные сельскохозяйственные культуры

Культура	Азотные			Фосфорные	Калийные
	Основное внесение	Первая подкормка	Вторая подкормка	Основное внесение (подкормка трав)	
1	2	3	4	5	6
Озимые зерновые (зерно) Озимые + травы	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос, сложное NPK удобрение (5:16:35)	КАС, аммиачная селитра	КАС с медью, аммиачная селитра	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос сложное NPK удобрение (5:16:35)	Калий хлористый
Озимые (зеленая масса)	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос, сложное NPK удобрение (5:16:35)	КАС, аммиачная селитра	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос сложное NPK удобрение (5:16:35)	Калий хлористый
Яровые зерновые (зерно) Яровые + травы	Сульфат аммония, мочевины, КАС, аммофос, аммофосфат, диаммофос, аммонизированный суперфосфат	КАС, КАС с медью,	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый
Кукуруза (зеленая масса)	Сульфат аммония, мочевины, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос,	КАС	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый

1	2	3	4	5	6
Яровые (зеленая масса)	Сульфат аммония, мочевина, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос,	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый
Рапс (семена)	Сульфат аммония, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос,	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Сульфат калия, калмаг- незия, калий хлористый
Лен	Сложное NPK удобрение (5:16:35) Сульфат аммония, карбамид, КАС	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос сложное NPK удобрение (5:16:35)	Сульфат калия, калий хлористый
Зернобобовые (зерно)	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос,	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый
Картофель	Сульфат аммония, Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос,	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Сульфат калия, калмаг- незия, калий хлористый
Сахарная свекла	Сульфат аммония, мочевина, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	Сульфат аммония, мочевина	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Кормовые корнеплоды	Сульфат аммония, мочевина, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	Сульфат аммония, мочевина	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Гречиха	Сульфат аммония, мочевина, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Сульфат калия, калмаг- незия, калий хлористый
Бобово- злаковые смеси	Сульфат аммония, мочевина, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос,	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый калийная соль,

1	2	3	4	5	6
Капустные (семена)	Сульфат аммония, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый сульфат калия, калимаг-незия
Капустные (зеленая масса)	Сульфат аммония, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калий хлористый сульфат калия, калимаг-незия
Злаковые травы	Аммиачная селитра, КАС, аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	КАС с медью, КАС	КАС с медью, КАС	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Бобовые травы	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат диаммофос	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Сенокосы	Аммиачная селитра, сульфат аммония, мочевина, КАС	КАС, КАС с медью	КАС, КАС с медью	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Пастбища	Аммиачная селитра, сульфат аммония, мочевина, КАС	КАС, КАС с медью	КАС, КАС с медью	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Калийная соль, калий хлористый
Овощи	Сложное NPK удобрение (10:20:20)	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Сульфат калия, калимаг-незия
Сады, ягодники	Сложное NPK удобрение (10:20:20)	-	-	Аммофос, аммофосфат, аммонизированный суперфосфат, диаммофос	Сульфат калия, калимаг-незия

3.10 БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГУМУСА В ПОЧВЕ

Определение баланса питательных элементов и гумуса в почве является теоретической основой рациональной системы удобрения. Под ним понимают сопоставление приходных и расходных статей за ротацию севооборота.

Требования к балансу можно закладывать заранее, при определении доз удобрений, такой баланс называют планируемым. В остальных случаях речь может идти о фактическом балансе, с помощью которого оценивают эффективность системы удобрения.

Баланс позволяет контролировать возврат питательных элементов в почву, израсходованных на формирование урожая, уточнять годовые планы применения удобрений, проводя корректировку доз удобрений на основе сравнения величин желаемого и фактического баланса, оценивать эффективность разных систем удобрения, прогнозировать и планировать изменение плодородия почвы.

Баланс может быть положительным (интенсивным), отрицательным (экстенсивным) и нулевым (бездефицитным). Положительный баланс способствует повышению плодородия почвы, нулевой – сохранению его на имеющемся уровне, а отрицательный – приводит к истощению запасов питательных элементов и гумуса в почве и снижению ее плодородия.

В последние годы в связи со снижением объемов применения органических, минеральных удобрений и известкования кислых почв в России сложился отрицательный баланс питательных элементов и гумуса в почве, что определяет низкую продуктивность сельскохозяйственных угодий и снижение плодородия почв.

Различают баланс в хозяйстве, в севообороте и под отдельной культурой.

Баланс в хозяйстве предполагает сравнение объемов отчуждаемых из хозяйства питательных элементов в составе реализуемой продукции и поступление их с удобрениями. Он позволяет количественно прогнозировать изменение плодородия почвы, но не дает полного представления об условиях питания отдельных культур или севооборота в целом.

Баланс в севообороте и под отдельными культурами может быть упрощенным *хозяйственным* и *полным (биологическим)*.

Хозяйственный баланс предполагает сравнение расходных статей баланса (вынос питательных веществ товарной и нетоварной продукцией,

потери от выщелачивания и эрозии) с приходными статьями (поступление с минеральными и органическими удобрениями, с осадками, с семенами, симбиотической и несимбиотической азотфиксацией).

Полный (биологический) баланс дает наиболее полное представление о круговороте питательных элементов. В его расходные статьи, кроме перечисленных в хозяйственном балансе, дополнительно включают вынос питательных элементов корневыми и послеуборочными остатками.

Для практических целей чаще используют хозяйственный баланс. Баланс питательных элементов оценивается показателями их дефицита или избытка, интенсивностью, структурой.

Дефицит или избыток элементов питания представляет разницу между всеми источниками их поступления и расхода и выражается в абсолютных (кг) или относительных (%) величинах в расчете на всю площадь или единицу площади.

Интенсивность баланса – это отношение поступления питательных элементов к их выносу урожаем. Выражается в виде процентов или коэффициентов. Величина интенсивности баланса менее 100% (или менее 1) характеризует дефицитный баланс, более 100% (или более 1) – положительный.

Интенсивность баланса зависит от плодородия почв: с его повышением требования к балансу ослабевают. Нормативы интенсивности баланса питательных элементов за ротацию севооборота для дерново-подзолистых почв приведены в таблице 60.

Таблица 60 – Примерные нормативы интенсивности баланса питательных веществ за ротацию севооборота (% к выносу) в зависимости от содержания элементов питания в дерново-подзолистых почвах

Группа почвы по содержанию питательного элемента	Нормативы интенсивности баланса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1–2	120–130	200–250	130–150
3	120–130	170–200	110–130
4	110–120	140–170	80–100
5	100–110	100–140	60–80
6	80–100	70–100	40–60

Примечание: по азоту к первому классу относятся дерново-подзолистые почвы с содержанием гумуса менее 2 %, ко второму - 2,0-2,8 %, к третьему - 2,8-4,4 %

Структура баланса – характеризует доленое участие отдельных статей прихода и расхода элементов питания в балансе.

Кроме этих величин можно определить *коэффициент возврата питательных элементов* (отношение поступления их с удобрениями к выносу урожаем).

Баланс гумуса. С ростом продуктивности сельскохозяйственных культур увеличиваются объемы пожнивно-корневых остатков, которые, вместе с органическими удобрениями, обеспечивают пополнение органического вещества в почве. Из растительных остатков наибольшее значение имеют остатки бобовых многолетних трав. В зависимости от урожайности бобовых культур в почве остается 3,5–7,5 т/га корневых и пожнивных остатков, после зерновых – 2,0–4,0 т/га. Остатки многолетних бобовых трав имеют более благоприятный состав для их гумификации, чем остатки зерновых культур. Пропашные культуры оставляют незначительный объем растительных остатков. В связи с этим в севооборотах с высоким насыщением зерновыми и пропашными культурами восполнение потерь гумуса за счет растительных остатков не представляется возможным.

В опытах МСХА им. К.А. Тимирязева в севообороте, где 40% площади занято многолетними травами и не было интенсивных пропашных культур, был установлен положительный баланс гумуса (А.М. Лыков, 1985).

Основным источником пополнения запасов гумуса в почве являются органические удобрения. По данным ВНИПТИОУ, для создания бездефицитного баланса гумуса в дерново-подзолистых тяжело- и среднесуглинистых почвах необходимо, чтобы среднегодовая насыщенность посевов подстилочным навозом составляла 10–12, а на супесчаных – 12–15 т/га.

Пользуясь зональными справочными данными можно рассчитать дозу органических удобрений для достижения и поддержания нужного содержания гумуса. Для этого используют следующую формулу:

$$D = \frac{G_{исх} K_m T + (G_{ж} - G_{исх}) - PK_2 T}{M_2 T},$$

где D – доза органического удобрения, т/га; $G_{ж}$ и $G_{исх}$ – соответственно желаемое и исходное содержание гумуса, т/га; K_m – коэффициент минерализации гумуса (1–3%) – 0,01 – 0,03; T – число лет, за которое планируется довести содержание гумуса до желаемого уровня; P – масса послеуборочных растительных остатков, т/га; K_2 – коэффициент гумификации послеуборочных растительных остатков (0,10–0,25); M_2 – масса гумуса, образующаяся из 1 т органических удобрений, т/га.

Коэффициенты гумификации разных органических веществ изменяются в значительных пределах. Для сухого вещества растительных послеуборочных остатков они изменяются от 5 до 30%, для сухого вещества навоза – от 20 до 40%. От многих факторов зависит и коэффициент минерализации гумуса. Он изменяется от 0,4 до 2,2% под зерновыми, от 0,8 до 4,0% – под пропашными культурами.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите последовательность разработки системы удобрения.
2. В чем различия разработки системы удобрения при ограниченной и неограниченной обеспеченности севооборота удобрениями?
3. Что такое годовые и календарные планы применения удобрений, чем они отличаются от общей схемы системы удобрения?
4. Для чего необходима проверка системы удобрения по балансу питательных веществ?
5. Назовите виды баланса. В чем их различия?
6. Какими показателями оценивается баланс питательных элементов?
7. Какие статьи включают в расходную часть хозяйственного баланса?
8. Какие статьи включают в приходную часть хозяйственного баланса?

4 ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ



Эффективность земледелия тесно связана с точным соблюдением технологии использования удобрений, под которой понимают определенный порядок рабочих операций по их транспортировке, хранению, подготовке и внесению. Различия в свойствах удобрений определяют различия и в технологиях их применения. Лишь для удобрений, имеющих сходные физико-механические свойства, применимы близкие по характеру технологические решения.

4.1 ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ, ХРАНЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ К ВНЕСЕНИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Доставка минеральных удобрений от заводов-поставщиков до складов хранения при расстояниях более 120 км осуществляется смешанным железнодорожно-автомобильным транспортом, при небольших расстояниях (до 120 км) – прямым автомобильным.

На железной дороге для перевозки затаренных удобрений используются крытые универсальные вагоны емкостью 63 т или цельнометаллические крытые вагоны емкостью 62 т. Незатаренные и не слеживающиеся удобрения перевозят в крытых вагонах типа «Хоппер» (емкостью 60 и 64 т) с гравитационной разгрузкой (самотеком через нижние люки). Загрузка удобрений в такие вагоны осуществляется через люки в крышах самотеком из заводских хранилищ силосного типа.

Пылевидные удобрения (фосфоритную муку, известняковую муку, сланцевую золу) перевозят в вагонах-цистернах с пневматической разгрузкой.

Удобрения, затаренные в мягкие контейнеры МК-1, 5П(Л) грузоподъемностью 1,5–2 т, транспортируют в полувагонах или на железнодорожных платформах. Погрузочно-разгрузочные работы осуществляют кранами. При этом существенно снижаются потери удобрений,

простои вагонов под загрузкой и разгрузкой, затраты труда из-за полной механизации всех процессов. По железной дороге удобрения доставляют в *прирельсовые* склады (водным транспортом – на *пристанские* склады).

При небольших расстояниях (до 120 км) удобрения перевозят автомобилями-самосвалами или бортовыми автомобилями. Для перевозки незатаренных удобрений машины должны иметь металлическую крышку или брезент-тент. На близких расстояниях можно использовать тракторные прицепы. Пылевидные удобрения лучше перевозить в автоцистернах-цементовозах или машинах, которые имеют пневматические устройства для разгрузки. Удобрения доставляют в *глубинные* склады. На рисунке 55 показана схема доставки минеральных удобрений.

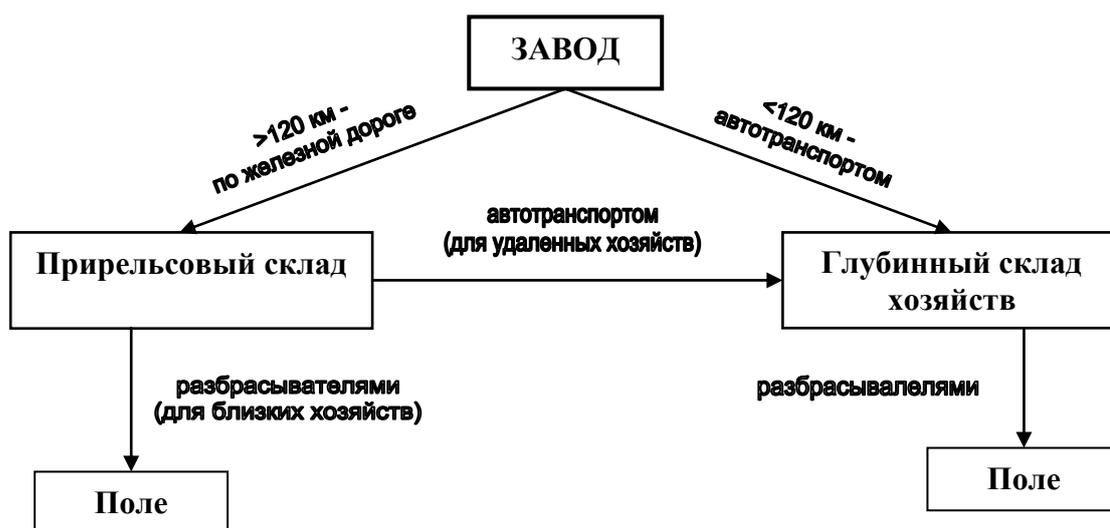


Рисунок 55– Схема доставки минеральных удобрений

Необходимость складирования удобрений обусловлена сезонностью их применения и неравномерным поступлением в течение года.

Основное требование, предъявляемое к условиям хранения удобрений на складах – обеспечение сохранности их физико-механических свойств и содержания питательных веществ. Прежде всего, необходимо исключить попадание в удобрения воды, которая приводит к слеживаемости удобрений, разрушению гранул, изменению гранулометрического состава, выщелачиванию

из удобрений питательных веществ. Поэтому хранение минеральных удобрений на открытых, необорудованных площадках приводит к значительным их потерям (до 10–15%) и ухудшению качества.

Типовые склады должны отвечать следующим основным требованиям: обеспечивать изоляцию удобрений от атмосферных осадков, талых и грунтовых вод, создание микроклимата в хранилище, исключающего сквозняки и приток влажного воздуха, возможность механизации погрузочно-разгрузочных работ. Вдоль склада должен быть центральный проезд шириной 3 м для свободного передвижения машин.

Вместимость прирельсовых (пристанских) складов значительно больше, чем глубинных. Ее определяют исходя из числа обслуживаемых складами хозяйств, перспективной среднегодовой потребности в удобрениях и годовой их оборачиваемости, которая, в зависимости от зональных условий, может быть двух-, трех- и четырехкратная. Такие склады строят из железобетонных и облегченных деревянных конструкций, а также из кирпича и других строительных материалов на расстоянии не ближе 200 м от жилых, общественных и производственных помещений.

Размеры глубинных складов зависят от перспективной потребности в удобрениях и коэффициента их оборачиваемости. Как правило, для накопления и хранения удобрений хозяйствам необходимо иметь склады, рассчитанные на единовременное хранение не менее 70% годовой потребности в удобрениях. Более приемлемыми являются склады емкостью до 1 тыс. т павильонного типа с напольной механизацией. При таком объеме хранящихся удобрений целесообразно строить межхозяйственные склады (для 2–3 хозяйств).

Тип склада и технология работ на нем определяется физико-механическими свойствами удобрений, а также климатическими условиями местности. По виду хранящихся удобрений различают склады для хранения:

- твердых минеральных удобрений;
- жидких минеральных удобрений;
- известковых материалов;

- отдельно от удобрений – склады для пестицидов.

Емкость типовых складов колеблется от 200 до 2000 тонн.

Если в хозяйстве нет типового склада, то удобрения хранят в приспособленном помещении с не протекающей крышей, а если пол земляной – необходим деревянный настил для устранения контакта удобрений с капиллярной влагой.

Склады для твердых минеральных удобрений. Доставленные удобрения размещают в специально отведенных для каждого вида удобрений *секциях*, которые разделяют щитами или переносными перегородками на отдельные *отсеки* для хранения различных форм удобрений. Каждый отсек должен иметь надпись: вид, форма удобрения, содержание в нем действующего вещества. Склад должен иметь толевую или деревянную крышу (не железную); стены до высоты засыпки удобрений должны быть покрыты тонким слоем асфальта или битумной смолы; полы – водонепроницаемыми. Учитывая, что в Нечерноземной зоне нередки снежные метели, высокая влажность грунтов и воздуха, наряду с гидроизоляцией полов и стен, необходима герметизация дверных и оконных проемов.

Высокую стойкость к химическому воздействию проявили склады из деревянно-гвоздевых арочных конструкций, практиковавшиеся в Смоленской области.

Незатаренные удобрения (суперфосфат, хлористый калий, калийную соль) хранят насыпью высотой 1,5–2 м, менее гигроскопичные удобрения (фосфоритную муку, сульфат аммония) – до 2,5–3 м. На складе используют автосамосвалы, погрузчики, бульдозеры.

Затаренные удобрения (кроме аммиачной селитры) укладывают на поддоны в три яруса по пять рядов в каждом поддоне крест-накрест (всего 15 рядов), а сложные и гранулированный суперфосфат – до 20 рядов. В районах достаточного и избыточного увлажнения затаренные удобрения лучше укладывать на решетчатые настилы и стеллажи, обеспечивая сохранность

упаковки (при ее разрыве удобрения необходимо немедленно перезатарить). Для подачи мешков можно использовать ленточный транспортер.

Особой осторожности требует хранение аммиачной селитры, которая является сильным детонатором и поэтому взрыво- и огнеопасна. Ее следует хранить отдельно от других удобрений, нельзя перевозить и хранить навалом и вместе с веществами, способными вступать с ней в реакцию. Аммиачную селитру лучше всего размещать на стеллажах или на стоечных антикоррозийных поддонах с высотой укладки в 10 рядов (два яруса по пять рядов в каждом поддоне). Расстояние от штабеля до стены должно быть 1 м, между штабелями делают разрыв до 3 м. На складах затаренных удобрений используют транспортеры и погрузчики.

Взрывоопасными являются также натриевая и калийная селитры, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать противопожарные правила. Возникший пожар следует тушить только водой, пользуясь при этом противогазом.

Пылевидные известковые удобрения и фосфоритную муку хранят в специальных прирельсовых складах силосного типа, предусматривающих пневматическую загрузку–выгрузку.

Склады должны иметь надежное весовое оборудование. Удобрения должны отпускаться по массе с ведением точного учета их поступления и отпуска. Ответственность за расходованием удобрений, организацию работ на складе и соблюдение техники безопасности при разгрузочно-погрузочных работах несет кладовщик (начальник склада).

При хранении минеральных удобрений в складах и приспособленных помещениях необходимо дополнительно соблюдать следующие правила:

- каждый вид удобрения должен храниться отдельно, не допускается смешивание удобрений;
- вокруг складского помещения делают и регулярно очищают сточные канавы;

– в сухую погоду склады проветривают, а в сырую – закрывают и открывают только для отпуска или приема удобрений;

– в складах минеральных удобрений запрещается хранить другие материалы;

– запрещается хранить аммиачную селитру в одном помещении с легковоспламеняющимися материалами; склады аммиачной селитры должны иметь надписи: «Аммиачная селитра», «Огнеопасно»; размещение склада аммиачной селитры согласуется с органами государственного санитарного и пожарного надзора;

– вблизи от места хранения аммиачной селитры и других пожароопасных минеральных удобрений запрещается пользоваться открытым огнем;

– территория склада минеральных удобрений должна быть огорожена, двери и окна складских помещений в нерабочее время – закрыты;

– нельзя хранить удобрения в одном помещении с сельскохозяйственными машинами;

– для работы с удобрениями следует иметь защитные очки, резиновые перчатки или рукавицы и резиновую обувь;

– при смешивании удобрений необходимо соблюдать меры предосторожности от выделяющихся газов и образующейся пыли.

Склады для жидких минеральных удобрений. Жидкие удобрения (аммиачную воду, КАС) хранят в специальных горизонтальных и вертикальных цилиндрических резервуарах вместимостью 50, 100 и 300 м³, в которые их перекачивают по всасывающему трубопроводу из железнодорожных цистерн, оборудованных нижним сливом, а разгружают с помощью насоса по нагнетательному трубопроводу через раздаточный стояк в транспортные средства (автоцистерны).

Для хранения жидкого (безводного) аммиака на прирельсовых складах используются:

– цилиндрические резервуары вместимостью от 50 до 100 т, рассчитанные на давление 16–18 атм.;

– сферические емкости вместимостью от 1 до 3 тыс. т, выдерживающие давление 6–7 атм. с искусственным охлаждением;

– вертикальные цилиндрические емкости вместимостью от 3 до 30 тыс. т, рассчитанные на атмосферное давление.

Жидкие азотные удобрения требуют особенно строгого соблюдения техники безопасности при транспортировке, хранении и внесении в почву в связи с документом «Инструкция по эксплуатации прирельсовых и глубинных складов водного аммиака». Люки цистерн с аммиаком должны быть плотно закрыты крышками с резиновыми прокладками, так как аммиак очень быстро испаряется (в 5–6 раз быстрее испарения бензина). Емкости с аммиачной водой и безводным аммиаком должны устанавливаться на открытых, хорошо проветриваемых площадках, в удалении от населенных пунктов, хозяйственных построек и общественных зданий. Емкости с КАС, имеющим более высокую плотность, чем аммиачная вода и безводный аммиак, должны устанавливаться на прочные опоры, исключая деформацию резервуаров, или укладываться на песчаную «подушку».

Подготовка удобрений к внесению заключается в отделении их от тары, измельчении слежавшихся удобрений, просеивании и приготовлении тукосмесей.

Растваривание, измельчение и загрузку удобрений в разбрасыватель осуществляют с помощью агрегата АИР-20 (рис. 56) с загрузкой в него удобрений фронтальным погрузчиком типа ПФ-0,75.



Рисунок 56 – Агрегат для растаривания и измельчения минеральных удобрений АИР-20

АИР-20 имеет бункер, внутри которого вращаются барабаны, которые измельчают комки удобрений, сепарирующее устройство для отделения мешкотары и транспортер для загрузки удобрений в транспортное средство, разбрасыватель или тукосмесительную установку. Производительность агрегата – 20 т/час для слежавшихся удобрений и 30 т/час – для не слежавшихся.

Измельчение удобрений можно проводить также с помощью машины ИСУ-4.

Смешивание удобрений осуществляется на тукосмесительной установке УТС-30 (рис. 57) производительностью 30 т/час, тукосмесительной установке СМУ-30 (рис. 58) и смесителе-загрузчике удобрений СЗУ-20. Правила смешивания удобрений приведены в таблице 61.

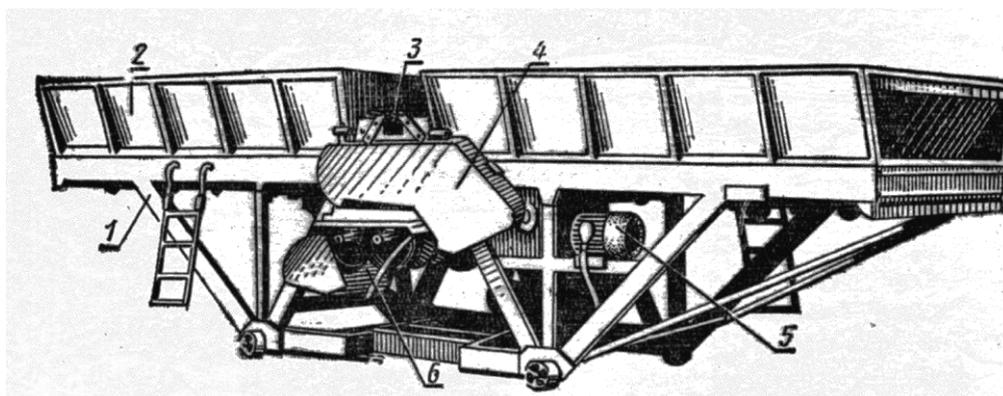


Рисунок 57 – Установка тукосмесительная стационарная УТС-30:
1 – рама; 2 – бункер; 3 – дозирующий механизм; 4 – механизм привода; 5 – электродвигатель; 6 – смешивающее устройство.

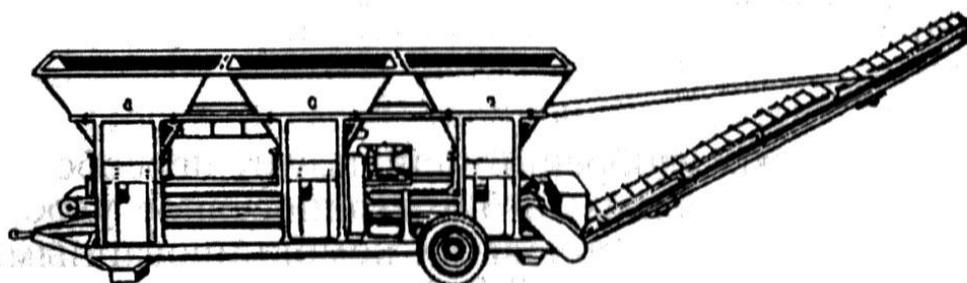


Рисунок 58 – Тукосмесительная установка СМУ-30

Таблица 61 – Схема смешивания минеральных удобрений (по И.М. Стребкову)*

Удобрения	Аммиачная селитра	Сульфат аммония	Мочевина	Суперфосфат	Преципитат	Фосфоритная мука	Фосфатшлак, томасшлак	Аммофос	Хлористый калий	Сернокислый калий	Сильвинит, каинит
Аммиачная селитра	М	ПВ	Н	ПВ	ПВ	ПВ	Н	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ
Сульфат аммония	ПВ	М	ПВ	М	М	М	Н	М	ПВ	М	ПВ
Мочевина	Н	ПВ	М	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ
Суперфосфат	ПВ	М	ПВ	М	М	М	Н	М	ПВ	М	ПВ
Преципитат	ПВ	М	ПВ	М	М	М	Н	М	ПВ	М	ПВ
Фосфоритная мука	ПВ	М	ПВ	М	М	М	М	М	ПВ	М	ПВ
Фосфатшлак, томасшлак	Н	Н	ПВ	Н	Н	М	М	Н	ПВ	М	ПВ
Аммофос	ПВ	М	ПВ	М	М	М	Н	М	ПВ	М	М
Хлористый калий	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	М	М	М
Сернокислый калий	ПВ	М	ПВ	М	М	М	М	М	М	М	М
Сильвинит, каинит	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	М	М	М	М

* М – можно смешивать заблаговременно; ПВ – можно смешивать перед внесением (не раньше, чем за два дня); Н – смешивать нельзя

При заблаговременном приготовлении смесей для улучшения физических свойств (придания сыпучести, рассеиваемости) к ним целесообразно добавлять нейтрализующие добавки – тонкоразмолотый известняк, мел, доломит (5% от массы смеси). Смесей должны быть сухими, сыпучими, не расслаиваться при транспортировке и внесении, не должны реагировать друг с другом. Хорошими физическими свойствами обладают смеси из гранулированных удобрений, особенно при одинаковых размерах гранул.

Смеси с высоким содержанием действующего вещества готовят с использованием мочевины или аммиачной селитры, двойного суперфосфата или аммофоса, крупнокристаллического хлористого калия.

Предельно допустимое содержание воды в удобрениях составляет: в аммиачной селитре, сульфате аммония и мочеvine –3%, суперфосфате –3,5%, хлористом калии – 2%.

Расчет массы конкретных удобрений, предназначенных для смешивания, проводят исходя из дозы действующего вещества и содержания его в удобрении по формуле:

$$\text{Доза удобрения, ц/га} = \frac{\text{доза действующего вещества, кг/га}}{\text{содержание д. в. в удобрении, \%}}$$

ПРИМЕР: Под вспашку следует внести 60 кг/га P_2O_5 и 90 кг/га K_2O . В хозяйстве есть 20%-ный гранулированный суперфосфат и 60%-ный хлористый калий. Для приготовления гектарной дозы смеси следует смешать 3 ц суперфосфата (60 : 20) и 1,5 ц хлористого калия (90 : 60).

Таким образом, технологические операции, связанные с подготовкой удобрений к внесению, включают:

- загрузку удобрений в растариватель и измельчитель;
- растаривание;
- измельчение и просев;
- загрузку в смеситель;
- смешивание;
- загрузку в разбрасыватель или транспортное средство.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы складских помещений для удобрений.
2. Каким требованиям должен отвечать склад для хранения минеральных удобрений?
3. Расскажите о порядке приема и хранения удобрений на прирельсовых и хозяйственных складах.
4. Как готовят удобрения к внесению?
5. Назовите правила смешивания удобрений. Какие требования предъявляют к тукомесям?
6. Какие средства механизации используются при погрузочно-разгрузочных работах на складах минеральных удобрений, какие машины используются для транспортировки известковых удобрений, твердых и жидких минеральных удобрений.

3.2 ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В зависимости от удаленности полей от складов и набора машин технология доставки и внесения минеральных удобрений может быть *прямоточной, перегрузочной и перевалочной* (табл. 62).

Таблица 62 – Технологические схемы внесения твердых минеральных удобрений

Технология	Операции
<i>Прямоточная</i> (склад – машина для внесения удобрений – поле)	Погрузка минеральных удобрений, транспортировка, внесение
<i>Перевалочная</i> (склад – автосамосвал – перегрузочная площадка – машина для внесения удобрений - поле)	Погрузка минеральных удобрений, транспортировка, выгрузка, погрузка, внесение
<i>Перегрузочная</i> (склад – машина для транспортировки и перегрузки удобрений – машина для внесения удобрений - поле)	Погрузка минеральных удобрений, транспортировка, перегрузка, внесение

При расстоянии от поля до склада не более 5 км удобрения загружают на складе непосредственно в тракторные разбрасыватели, в которых доставляют до поля, вносят и возвращаются на склад. Это прямоточная технология, по ней вносится большая часть допосевного и послепосевного удобрения. В настоящее время она является самой распространенной как наиболее экономически выгодная при перевозке удобрений на небольшие расстояния.

При достаточном количестве машин, хорошем состоянии дорог и невысоких дозах удобрений прямоточную технологию можно рекомендовать и при большей удаленности полей от склада (табл. 63). В этом случае преимущество имеют автомобильные разбрасыватели. Разбрасыватели малой грузоподъемности целесообразно использовать при удалении полей до 5–10 км (с учетом качества дорог).

На более удаленные поля, доставка удобрений может осуществляться по перегрузочной технологии. Она предполагает постоянную работу разбрасывателей или туковых сеялок в поле. Удобрения доставляют самосвалами, перегружают в кузов разбрасывателя.

Таблица 63 – Предельные радиусы эффективного применения разбрасывателей минеральных удобрений при работе по прямоочной схеме
(по данным ВНИИМЭСХ)

Доза удобрений, ц/га	Предельно рациональный радиус доставки (км) при внесении удобрений машинами			Доза удобрений, ц/га	Предельно рациональный радиус доставки (км) при внесении удобрений машинами		
	РУМ-3	1-РМГ-4	КСА-3		РУМ-3	1-РМГ-4	КСА-3
1	8,5	11,0	-	9	1,8	2,2	14,0
2	4,9	6,0	-	10	1,7	2,0	13,0
3	3,4	4,4	29,0	11	1,7	1,9	12,5
4	2,9	3,4	24,0	12	1,6	1,9	12,0
5	2,5	2,9	20,0	13	1,5	1,8	11,1
6	2,3	2,7	18,0	14	1,4	1,7	11,0
7	2,0	2,4	16,5	15	1,3	1,6	10,9
8	1,9	2,3	15,0				

Самосвалы СА3-3502 опрокидывают содержимое кузова в бункер разбрасывателя. Для обычных самосвалов при перегрузке удобрений в бункер разбрасывателя используют перегрузочную эстакаду.

Для внесения минеральных удобрений используют разбрасыватели с устройством центробежного типа: 1РМГ-4, НРУ-0,5, МТТ-4У, РУ-1600, РУ-3000, РУМ-800, КСА-3 (рис. 59–65).



Рисунок 59 – Разбрасыватель минеральных удобрений 1 РМГ-4



Рисунок 60 – Разбрасыватель минеральных удобрений НРУ-05



Рисунок 61 – Машина для внесения твердых минеральных удобрений МТТ-4У
(грузоподъемность - 4 т, агрегируется с трактором класса 1,4)



Рисунок 62 – Рассеиватель минеральных удобрений РУ-1600
(грузоподъемность 1,6 т, агрегируется с тракторами класса 0,9...1,4)



Рисунок 63 – Рассеиватель минеральных удобрений РУ-3000
(грузоподъемность – 3 т, агрегируется с трактором класса 2,0)



Рисунок 64 – Разбрасыватель удобрений двухдисковый РУМ – 800



Рисунок 65 – Автомобильный разбрасыватель минеральных удобрений КСА-3

Новыми машинами являются: машина компании SIPMA (рис. 66), МТТ 4У, РУ–1600, РУ–3000, Л–116 (рис. 67), СЗТМ-4Н (рис. 68).



Рисунок 66 – Разбрасыватели минеральных удобрений N-049 и N-060 (двухдисковые, объёмом от 400 до 2000 кг, предназначенные для поверхностного внесения удобрений. Рабочая ширина разбрасывания – 10 – 28 м.



Рисунок 67 – Разбрасыватель минеральных удобрений Л-116 (Беларусь) Агрегируется с тракторами класса 0,6 и выше

Перегрузочная технология применяется также при внесении удобрений культиваторами-растениепитателями и другими машинами для внутрипочвенного (локального) внесения. Для допосевного внутрипочвенного внесения удобрений сконструированы агрегаты МКП-4, ГУН-4, ЧКУ-4, АВМ-8, МВВ-8, МВВ-12. На пропашных культурах с этой целью используют КОН-

2,8П, КРН-2,8 и др., совмещая внесение удобрений с нарезкой гребней. Подкормку сельскохозяйственных культур проводят по прямоточной или перегрузочной схеме.



Рисунок 68 – Машина для внесения минеральных удобрений СЗТМ-4Н

Для поверхностной подкормки культур сплошного сева (зерновые, лен, многолетние травы и др.) применяют те же машины, что и для основного внесения удобрений. Чаще используют СТН-2,8, МВУ-8, МВУ-0,5 НРУ-0,5, а для некорневой подкормки – машины ОПШ-15, ПОМ-630, ОП-2000. Для подкормки пропашных культур применяют культиваторы-растениепитатели, культиваторы-окучники: КРН-4,2, КРН-5,6, КРН-2,8А, КОН-2,8 ПМ и др.

Наименее экономичная и удобная схема перемещения удобрений – перевалочная, при которой доставленные самосвалами удобрения выгружают на перегрузочную площадку, затем осуществляют погрузку удобрений в кузов разбрасывателя и внесение на поле (или по схеме: перегрузочная площадка – транспортное средство – разбрасыватель – поле). Это приводит к потерям удобрений, их загрязнению, ухудшению физико-механических свойств, максимальным затратам труда и средств. Эта технология используется, главным образом, при отсутствии перегрузочной техники.

Для внесения *известковых пылевидных удобрений* (известняковой и доломитовой муки, сланцевой золы, цементной пыли) и *фосфоритной муки*, имеющих специфические физические свойства, существуют технологические особенности. Перевозка и хранение их должна осуществляться только в герметичных емкостях. Хранение осуществляется, главным образом, в

прирельсовых складах силосного типа, доставка – по железной дороге в цистернах-минераловозах.

Существует две технологические схемы внесения *пылевидных удобрений* - *прямоточная и перегрузочная*. Выбор зависит от длины плеча перевозки, состояния дорог, количества машин для транспортировки удобрений. При использовании *прямоточной* технологии применяют тракторные и автомобильные разбрасыватели – РУП-8 и АРУП-8 (рис. 68). Взамен их начато производство машин МТП-8 и РУП-10 на базе автотягача ЗИЛ-130/131 и трактора Т-150К. Эта технологическая схема включает загрузку разбрасывателей на складе, транспортировку и внесение. Экономически целесообразно ее использовать при перевозке на расстояние до 30 км для АРУП-8 и до 6 км для РУП-8. При больших расстояниях используют *перегрузочную* технологию, которая предусматривают загрузку и перевозку удобрений от склада до поля в АРУП-8 и перегрузку на поле в РУП-8. Эта технология используется при расстоянии от склада до поля более 8 км, плохом состоянии подъездных путей и невозможности передвижения по полю АРУП-8.

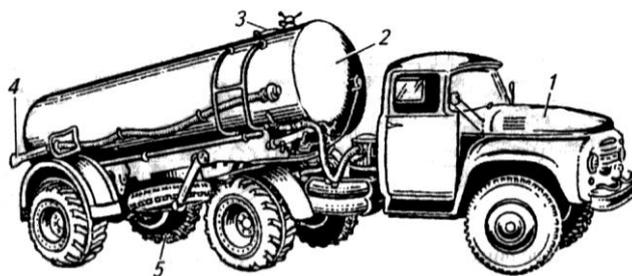


Рисунок 69 – Автомобильный разбрасыватель удобрений пылевидных АРУП-8

1 – тягач; 2 – цистерна – полуприцеп; 3 – загрузочный люк; 4 – загрузочный люк с соплом; 5 – опорное устройство

Для внесения *слабопыляющих известковых удобрений* применяют средства механизации общего назначения (МВУ-5, МВУ-8, МВУ-16, КСА-3, МХА-7 и др.), с использованием *прямоточной, перегрузочной и перевалочной* технологических схем. При радиусах перевозки не более 3–6 км используют МВУ-8, 12 км – МВУ-16, 12–15 км – КСА-3, 20–25 км – МХА-7 по *прямоточной* технологии.

По *перегрузочной* схеме удобрения доставляют до поля автомобилем-самосвалом САЗ-3502, перегружают в кузовной разбрасыватель и вносят на поле. Для такой схемы необходимо достаточное число перегрузчиков.

При использовании *перевалочной* технологической схемы непылящие известковые удобрения доставляют автотракторным транспортом в поле и выгружают на его краю в бурты, из которых снова загружают в разбрасыватели и вносят в почву.

4.3 ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Жидкие минеральные удобрения (безводный аммиак, аммиачная вода, аммиакаты, КАС, ЖКУ) при наличии в хозяйстве полевых складов, расположенных вблизи удобряемых полей, вывозят на поля по *прямоточной* схеме тракторными прицепами-цистернами (АБА-05М, АБА-1, АША-2), которые оборудованы рабочими органами для внесения удобрений. Не применяют транспортные средства и промежуточные заправщики. При удалении более 5 км используют *перегрузочную или перевалочную* технологию.

Работы по *перегрузочной* технологии ведут с использованием промежуточных заправщиков или без них. При работе без промежуточных заправщиков транспортные средства доставляют удобрения в поле и заправляют ими агрегаты для внесения в почву.

С увеличением расстояния доставки более эффективна работа по *перегрузочной* технологии с промежуточными заправщиками. Доставленные транспортными средствами удобрения перекачивают в промежуточные емкости, а из них заправляют агрегаты для внесения.

При работе по *перевалочной* технологии доставленные с помощью большегрузных цистерн удобрения перекачивают в полевые передвижные цистерны большой вместимости (30 т), из которых агрегаты для внесения удобрений в почву заправляются либо самостоятельно по *прямоточной* технологии, либо с использованием промежуточных заправочных емкостей.

Особую сложность представляет внесение безводного аммиака, так как необходимо оборудование, выдерживающее повышенное давление. Это относится и к транспортным машинам (МЖА-6, ЭБА-3,2, ЭТА-3, ЦТА-10), и к машинам для внутрripочвенного внесения аммиака (АБА-0,5А, АБА-1, АША-2, УЛП-8А-03). С помощью АБА-0,5М безводный аммиак вносят на глубину 14 см.

Использование аммиачной воды в технологическом отношении проще. Для работы с ней применяют не только специализированные, но и универсальные технические средства – автоцистерны для перевозки и заправки рабочих агрегатов (АЦА-3,85, АЦ-4,2) и машины для внесения удобрений – ЗЖВ-1,8, РЖТ-4, РЖТ-8, РЖУ-3,6 (рис. 70). Аммиачную воду можно вносить в почву с помощью подкормщика-опрыскивателя универсального – ПОУ-9 (рис. 71).

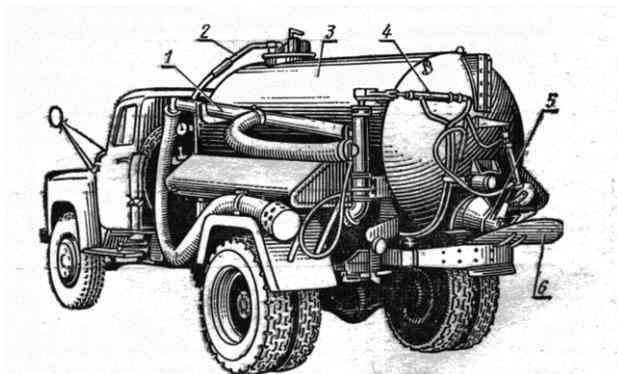


Рисунок 70 – Разбрасыватель жидких удобрений РЖУ-3,6:

1 – заправочная штанга; 2 – вакуумно-нагнетательная магистраль; 3 – цистерна;
4 – гидроцилиндр; 5 – затвор; 6 – отражательный щиток.

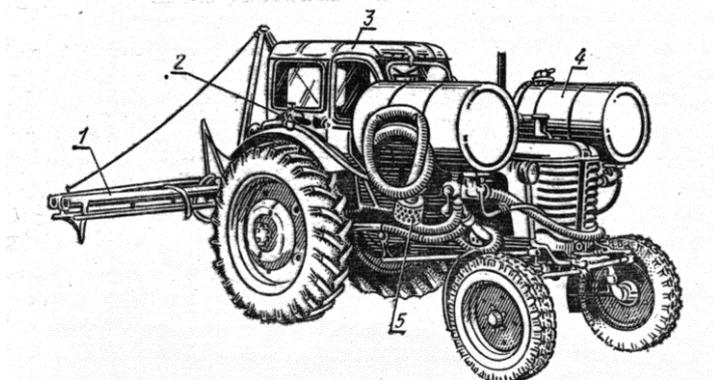


Рисунок 71 – Подкормщик – опрыскиватель универсальный ПОУ

1 – штанга; 2 – пульт управления; 3 – трактор; 4 – резервуар; 5 – заборный рукав с фильтром

Если безводный аммиак, аммиачную воду, аммиакаты вносят только внутрripочвенно, то жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) и КАС можно вносить и поверхностно. При таком внесении удобрения распределяют по поверхности поля методом разбрызгивания с последующей заделкой пpочвообрабатывающими орудиями.

ЖКУ и КАС применяют по *прямоточной, перегрузочной и перевалочной* технологическим схемам (табл. 64).

При внесении ЖКУ в дозе 300 кг/га машиной ПЖУ-5 прямоточную технологию целесообразно использовать при расстоянии до поля не более 2,5 км. При перегрузочной технологии заправку полевых машин проводят непосредственно из транспортных машин или из цистерны, расположенной на краю поля. Для перевалочной технологии необходимы полевые стационарные или передвижные хранилища, из которых заправляют машины для внесения удобрений.

64. Технологические схемы внесения ЖКУ и КАС

Технология	Операции
<i>Прямоточная</i> (склад – машина для внесения удобрения – поле)	Загрузка удобрений на складе, транспортировка, внесение
<i>Перегрузочная</i> (склад – транспортное средство – перегрузка в машину для внесения – поле)	Загрузка удобрений на складе, транспортировка, перегрузка в машину для внесения, внесение
<i>Перевалочная</i> (склад – транспортное средство – полевое хранилище – машина для внесения – поле)	Загрузка удобрений на складе, транспортировка, перегрузка в хранилище, загрузка в машину для внесения, внесение

4.4 ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Твердые органические удобрения вносят прицепами-разбрасывателями РОУ-5, МТТ-9 (рис.72), ПРТ-10, РОУМ-20 (рис. 73), используя прямоточную или перевалочную технологическую схему (табл. 65).



Рисунок 72. Машина для внесения твердых органических удобрений МТТ-9

грузоподъемность - 9 т, агрегируется с трактором класса 2,0



Рисунок 73 – Разбрасыватель органических удобрений трехосный РОУМ-20, 24
(при снятии вертикальных битеров может использоваться для перевозки грузов)

Таблица 65 – Технологические схемы внесения твердых органических удобрений

Технология	Операции
Прямоточная (ферма – навозоразбрасыватель – поле)	Погрузка органических удобрений в навозоразбрасыватель, транспортировка, внесение
Перевалочная (ферма – транспортное средство – место складирования у поля – поле)	Погрузка органических удобрений в транспортное средство, транспортировка, выгрузка на месте складирования у поля, бульдозерные работы (формирование бурта), погрузка в навозоразбрасыватель, внесение

При перевозке на расстояние до 5 км и высокой грузоподъемности прицепов-разбрасывателей наиболее экономична прямоточная технологическая схема внесения органических удобрений. Этот вариант используется при летнем внесении в пару и при осеннем – под зяблевую вспашку.

Основную часть органических удобрений вносят по перевалочной технологии, используя предварительную вывозку в бурты на поля. Это

позволяет осуществлять вывозку в зимний период, свободный от полевых работ, и повышает производительность труда.

Бурты размещают на возвышенных участках параллельными рядами. Расстояние между рядами должно быть равным длине рабочего хода навозоразбрасывателя (P_1), которую определяют по формуле:

$$P_1 = \frac{G \times 10000}{D \times Ш},$$

где: G – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т; D – доза навоза, т/га; $Ш$ – ширина разбрасывания навоза, м; 10000 – коэффициент пересчета на 1 га.

Это расстояние зависит от дозы органических удобрений и марки навозоразбрасывателя. При дозах до 40 т/га расстояние между рядами должно быть 90–130 м, при дозах более 40 т/га – 70–120 м. Расстояние между штабелями в ряду (P_2) определяют по формуле:

$$P_2 = \frac{B \times Ш}{G},$$

где: B – масса навоза в штабеле; G – грузоподъемность навозоразбрасывателя, т; $Ш$ – ширина разбрасывания навоза, м.

Масса штабеля зависит от расстояния между рядами штабелей, дозы органических удобрений и рабочего пути разбрасывателя. Ее определяют по формуле:

$$M = P_1 ПН,$$

где M – масса штабеля, т; P_1 – расстояние между рядами штабелей, м; $П$ – рабочий путь разбрасывателя, м; $Н$ – доза внесения удобрения, т/га.

Оптимальная масса навоза в штабеле в зимнее время составляет 60–100 т, а летом 20–40 т.

4.5 ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Навозная жижа – азотно-калийное удобрение. В ней в 2 раза меньше азота, чем в подстилочном навозе и в 1,5 раза меньше калия, практически нет фосфора. Соотношение С:N≈ 1:7 – неблагоприятное для накопления гумуса в

почве, поэтому его внесение должно сочетаться с использованием материалов с высоким содержанием углерода – соломой, опилками, торфом, кострой и др.

Дозы навозной жижи – ниже, чем навоза, т. к это быстродействующее удобрение. Под зерновые культуры, картофель и корнеплоды в основное удобрение вносят по 15–20 т/га навозной жижи, под овощные – 20–30 /га. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно вносить одновременно фосфорные удобрения.

Бесподстилочный (жидкий) навоз получается при разведении коров, свиней, птиц разных пород и других животных на крупных животноводческих комплексах при бесподстилочном содержании. По удобрительной ценности он близок к подстилочному навозу. Выход жидкого навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 55 кг/сут, свиньи – 50 кг/сут.

Хранение жидкого навоза. Для хранения сооружают емкости с гидроизоляцией. Жидкий навоз хранят в жижесборниках и накопителях открытого типа (рис. 74, 75), в закрытых лагунах (рис. 76), в рыболовно-биологических прудах. Использование рыболовно-биологических прудов – один из самых выгодных методов, т.к. позволяет получать не только качественное удобрение, но и мальков рыб, ряску и водоросли, которые можно пустить на корм животным и птицам. Жидкий навоз не должен просачиваться в грунт и загрязнять его.



Рисунок 74 – Емкость для хранения жидкого навоза Storsh



Рисунок 75 –Навозохранилище открытого типа



Рисунок 76 – Лагуна закрытого типа

При хранении обязательно предусматривают отдельные секции для карантина на случай вспышки инфекционных заболеваний на ферме. Обеззараживание навоза проводят биологическим (биотермическим), химическим или физическим методом.

Так как при хранении жидкий навоз расслаивается то примерно 1 раз в 10 дней его нужно перемешивать, не допуская образования прочной корки на поверхности. Для этого используют стационарные погружные мешалки - миксеры (рис. 77), которые подходят для небольших емкостей, или передвижные перемешивающие устройства, которые могут перемещаться по периметру хранилища и обеспечивать лучший эффект перемешивания (рис. 78, 79). Высокотехнологичное решение в этой области – полностью

автоматизированные плавающие *мешалки-амфибии* (лагунные помпы), которые заезжают в лагуну, перемешивают донные осадки и плавающую корку и выезжают обратно, повторяя это действие по мере необходимости (рис. 80).



Рисунок 77 – Стационарная мешалка для небольшой емкости



Рисунок 78 – Передвижная мешалка жидкого навоза



Рисунок 79 – Лагунный миксер



Рисунок 80 – Лагунная помпа (мешалка-амфибия)

Бесподстилочный навоз может применяться в качестве основного удобрения и для проведения подкормок сельскохозяйственных культур.

Технологические схемы внесения жидких органических удобрений приведены в таблице 66. Для крупных животноводческих комплексов промышленного типа наиболее целесообразно использование 3-1 технологической схемы

Таблица 66 – Технологические схемы внесения жидких органических удобрений

1. Прифермское навозохранилище — цистерна — полевое навозохранилище — цистерна-разбрасыватель — поле.
2. Прифермское навозохранилище — трубопровод — полевое навозохранилище (гидрант) — цистерна-разбрасыватель — поле.
3. Навозохранилище — трубопроводная сеть — дождевальная установка — цистерна разбрасыватель — поле.

Жидкие органические удобрения могут быть внесены поверхностно разбрызгиванием (рис. 81), поверхностно с помощью штанговых распределителей (рис. 82) и внутрь почвы (рис. 83).



Рисунок 81 – Поверхностный способ внесения жидкого навоза с использованием шланговых систем



Рисунок 82 – Поверхностный способ внесения жидкого навоза с использованием низкопрофильного аппликатора



Рисунок 83 – Внутрипочвенное внесение жидкого навоза

Поверхностный способ внесения жидких органических удобрений разбрызгиванием следует использовать лишь в хозяйствах, занимающихся вспашкой и минимальной обработкой почвы. Он не подходит для полей, обработка которых ведется с помощью нулевой технологии. Еще одна проблема – распространение острого неприятного запаха.

При поверхностном внесении с помощью низкопрофильного аппликатора (штанговых распределителей) удобрение практически не выходит за ширину самой рамы, на которую крепятся сопла, распределяется равномерно, аппликатор расположен низко над поверхностью земли, за счет чего меньше загрязняется атмосфера.

При внутрипочвенном внесении жидкого навоза он заделывается на глубину 5–18 см. К достоинствам этого способа внесения относится:

- низкие потери питательных веществ;
- отсутствие следов навоза и неприятного запаха;

- поверхность рабочего участка остается ровной;
- подходит для обработки почвы по любым технологиям.

4.6 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Оценка качества подготовки минеральных удобрений на соответствие их ГОСТу и ТУ по содержанию действующих веществ осуществляется Государственными станциями агрохимической службы после их доставки и хранения.

После измельчения, просеивания и смешивания удобрений диаметр гранул не должен превышать 5 мм, частиц менее 1 мм не должно быть не более 5%. По содержанию азота, фосфора и калия и соотношению этих элементов в смеси отклонения не должны превышать $\pm 10\%$ от заданного.

Качество внесения удобрений должно соответствовать агротехническим требованиям (табл. 67). Оценивается:

- соответствие фактической дозы заданной и равномерность внесения (распределения) удобрений по полю;
- стыковка смежных проходов агрегата по длине;
- обработка поворотных полос;
- отсутствие просыпанных удобрений на поле и вне его;
- глубина заделки удобрений.

Таблица 67 – Агротехнические требования к внесению органических удобрений

Показатель	Цифровое значение
Неравномерность распределения по ширине захвата и длине прохода агрегата, %	не более ± 25
Отклонение фактической дозы от установленной, %	не более ± 10
Величина комков удобрений, распределенных по полю, кг	до 0,2 (не менее 70% всех удобрений на поле)
Рабочая скорость движения агрегата, км/час.	7–12
Давление ходовых систем на почву, КПа	до 150

Контроль и оценку качества внесения удобрений необходимо проводить периодически: при настройке агрегатов, в процессе выполнения работы и при приемке-сдаче после окончания работ.

Установку туковых сеялок на норму высева удобрений можно осуществить несколькими способами.

Первый способ: к тукопроводам подвешивают мешочки, проезжают 80–100 м, взвешивают поступившие в мешочки удобрения и замеряют пройденное расстояние. Расчет фактической дозы высева удобрений ($Dф$) проводят по формуле:

$$Dф = \frac{Q \times 10^4}{L \times Bp},$$

где Q – масса удобрений, кг; L – длина пройденного пути, м; Bp – рабочая ширина захвата машины, м.

Соответствие фактической дозы заданной (C) определяют по формуле:

$$C = \frac{(Dф - Dz) \times 100}{Dz},$$

где $Dф$ – доза фактическая, ц/га; Dz – доза заданная, ц/га.

Второй способ: В сеялку загружают определенную массу удобрений и полностью вносят. Замеряют обработанную площадь и по тем же формулам устанавливают фактическую дозу и ее соответствие заданной.

Третий способ (стационарный): сеялку поднимают с помощью домкрата; под нее подстилают брезент или к тукопроводам подвязывают мешочки (в последнем случае можно определить и неравномерность внесения удобрений); делают несколько оборотов приводного колеса (например, из расчета засева 0,01 га); взвешивают высеянное удобрение и определяют фактическую дозу ($Dф$) по формуле:

$$Dф = \frac{Q \times 10^4}{k \times l \times Bp \times 0,9},$$

где Q – масса удобрений, кг; k – количество оборотов колеса; l – длина окружности колеса, м; Bp – рабочая ширина захвата сеялки, м; 0,9 – поправочный коэффициент на скольжение в поле.

Неравномерность внесения определяют по формуле:

$$\nu = \frac{\sigma_{cp} \times 100}{q_{i\text{cp}}}, \quad \sigma_{cp} = \sqrt{\frac{(\sum \Delta q_i)^2}{n-1}},$$

где ν – неравномерность внесения, %; σ_{cp} – среднее квадратичное отклонение, кг или г; $q_{i\text{cp}}$ – средняя масса удобрений в мешочках, кг или г; $(\sum \Delta q_i)^2$ – квадрат суммы отклонений массы удобрений в каждом мешочке от средней массы; n – число тукопроводов (мешочков).

Глубину заделки удобрений определяют вскрытием борозды и замером линейкой в 15–20 местах расстояния от поверхности почвы до места размещения удобрений. Это наиболее простой способ. Глубину заделки можно установить и с помощью специального бура.

Качество внесения органических удобрений определяют по фактической дозе и неравномерности внесения (табл. 67).

Неравномерность внесения органических удобрений контролируется путем замеров расстояний между следами колес смежных проходов агрегата (не менее 25 с точностью до 0,1 м). Далее сравнивают среднее значение замеров с допустимым контролируемым расстоянием, которое устанавливают по разнице между рабочей шириной захвата агрегата и шириной колеи трактора. Наличие огрехов при внесении удобрений не допускается. Скорость движения агрегата контролируется на расстоянии не менее 50 м.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о технологиях внесения минеральных и органических удобрений.
2. Перечислите агротехнические требования к внесению органических удобрений.
3. Назовите способы установки туковых сеялок на норму высева удобрений.
4. Как определяют неравномерность внесения удобрений и соответствие фактической дозы заданной?

5 ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Внесение минеральных удобрений существенно влияет на плодородие почвы и качество конечной продукции. В настоящее время расчет доз удобрений проводится исходя из среднего плодородия поля. При таком подходе на одних участках поля создается избыток удобрений, на других – их недостаток. Это влияет на урожайность и качество продукции, на плодородие почвы и экологическую обстановку на поле.

Современные технические и информационные средства позволяют осуществить дифференциацию внесения минеральных удобрений, т.е. речь идет о технологиях точного (прецизионного) земледелия, которое предусматривает два режима внесения удобрений и других химикатов - off-line и on-line.

Режим off-line предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, в которой содержатся дозы удобрений для каждого элементарного участка поля. Для этого осуществляется агрохимическое обследование полей с привязкой координат элементарных участков с помощью GPS-навигации и расчёт доз удобрений для каждого из этих участков. Затем информация переносится с помощью чип-карты на бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащённой GPS-приёмником, и выполняется заданная операция (рис. 84).

Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, определяет свое местонахождение. Компьютер считывает с чип-карты дозу агрохимикатов, соответствующую месту нахождения, и посылает сигнал на контроллер распределителя твердых удобрений или опрыскивателя, который выставляет нужную дозу.

Режим реального времени (on-line) предполагает предварительное определение агротехнических требований на выполнение операции – количественной зависимости дозы удобрений от показаний датчика, установленного на сельскохозяйственной технике сканирующего посева,

выполняющего операцию по их внесению. Следовательно, соответствующая доза определяется непосредственно во время выполнения операции. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

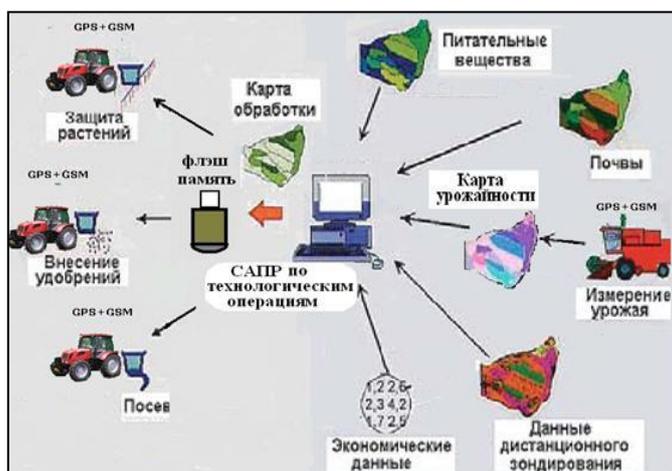


Рисунок 84 – Информационная база точного земледелия

Комплектация информационной и технической базы существенно зависит от режима выполнения операции.

Режим off-line предполагает наличие в качестве информационно-технической базы *мобильного автоматизированного комплекса для создания электронных карт полей и агрохимического обследования почвы* (рис. 85).

Он состоит из следующих функциональных компонентов:

- движитель Автомобиль типа «Нива»;
- автоматический почвенный пробоотборник;
- спутниковая система позиционирования (GPS);
- бортовой компьютер;
- программное обеспечение.

Почвенные пробы с каждого элементарного участка берутся на глубину 25 см, автоматически собирается в специальный контейнер на пробоотборнике и пересыпается в отдельную маркированную тару. Определение местоположения осуществляется с использованием спутниковой системы позиционирования и записывается на компьютер, оснащенный специальным

программным обеспечением, которое позволяет непосредственно в поле создавать электронный контур обследуемого участка, определять точки отбора проб и осуществлять навигацию по этим точкам.



Рисунок 85 – Внешний вид мобильного автоматизированного комплекса

Эта технология обеспечивает автоматическое создание электронной карты-схемы обследования с заданными размерами элементарного участка.

При отборе проб оператор, двигаясь внутри элементарного участка, делает 10–20 уколов автоматическим пробоотборником, останавливаясь при каждом уколе. На панели бортового компьютера записывается пройденный путь и сохраняется в памяти компьютера.

После проведения лабораторных исследований отобранных образцов результаты заносятся соответственно точкам отбора проб, импортированным из бортового компьютера комплекса. После этого методом интерполяции получают карту распределения по полю каждого агрохимического параметра.

Встроенный специальный редактор формул позволяет программировать достаточно сложные методы расчета удобрений, которые впоследствии применяются для создания карты-задания на внесение минеральных удобрений. В базе удобрений указывается содержание в них действующих веществ, стоимость и название. Стоимость позволяет рассчитать полную стоимость удобрений, внесенных на конкретное поле по созданной карте-заданию.

Для точного вождения машины по полю, избегания огрехов и перекрытий полос внесения минеральных удобрений используется контролер параллельного вождения.

Внесение твердых минеральных удобрений можно осуществлять центробежным распределителем минеральных удобрений AMAZONE ZA-M 900 (рис. 86). Для транспортировки и внесения химических средств защиты растений (инсектициды, фунгициды, гербициды и др.) в форме суспензий, эмульсий и смесей, а также жидких удобрений предназначен навесной опрыскиватель Amazone UF (рис. 87).



Рисунок 86 –Центробежный разбрасыватель минеральных удобрений AMAZONE ZA-M 900



Рисунок 87 – Навесной опрыскиватель Amazone UF 800

Кабина трактора оснащена бортовыми компьютерами Amatron II A и Hydro и контролером курса (рис. 88). Amatron II A производит регулировку нормы внесения удобрений с учётом фактической скорости и ширины захвата

навесного оборудования. На дисплее компьютера отображаются фактическая скорость движения, определяется и сохраняется обработанная площадь и время работы.



Рисунок – 88 Оснащение сельскохозяйственной техники в точном земледелии (бортовые компьютеры Amatron II A и Hydro и контролер курса в кабине трактора).

Режим реального времени (on-line) предполагает предварительно определить агротехнические требования выполнения операции, а доза удобрений определяется непосредственно во время выполнения. Агротехнические требования – это количественная зависимость дозы удобрения от показаний оптического датчика, установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

Оптический азотный сенсор Hydro-N-Sensor.

Гидро-N-сенсор – оптический прибор, позволяющий оптимизировать внесение минеральных удобрений при азотных подкормках растений. N-сенсор устанавливается на крыше трактора и имеет четыре оптических датчика по углам, обеспечивая обзор с четырех сторон (рис. 89). Эти датчики улавливают отраженный свет от листовой поверхности в красном и инфракрасном диапазоне света. Данные анализируются каждую секунду, и по ним определяется содержание хлорофилла в листьях и биомасса. Пятый датчик направлен вверх, он измеряет интенсивность света, позволяя системе

корректировать данные в соответствии с различными условиями освещенности, что дает возможность проводить работу и в пасмурную погоду.



Рисунок 89 – Разбрасыватель «AMAZONE ZA-M», оснащенный N-сенсором «Яра» для сканирования посева

Информация от датчиков передается на бортовой компьютер Hydro, который соединён кабелем с бортовым компьютером Amatron II A, управляющим дозирующей системой распределителя минеральных удобрений или опрыскивателя Amazone. В зависимости от интенсивности окраски листьев, сенсор повышает или снижает норму внесения азотных удобрений. Таким образом, это уникальный прибор позволяющий решить проблему естественной пестроты полей по этому элементу.

Определяющим элементом в работе N-сенсора являются так называемые калибровочные таблицы. Их разработка требует значительных затрат, но является обязательным условием для работы N-сенсора.

Разработка калибровочных таблиц для каждого сорта и для каждой фенологической фазы ведется при помощи портативного прибора N-тестера (рис. 90). При наступлении фенологической фазы, на которую была запланирована азотная подкормка, проводятся измерения N-тестером на разных по окраске и месторасположению растениях. Показания прибора записываются

и растения доставляются в лабораторию. В лаборатории определяется необходимая доза азота для каждого растения. Результаты лабораторного анализа ставятся в соответствие показаниями N-тестера. Так получается калибровочная таблица.



Рисунок 90 – Фотометры: 1 - Оптический датчик GreenSeeker (США); 2 - Американский N-тестер CCM-200; 3 - Портативный N-тестер «ЯРА»; 4 - Портативный N-тестер «Спектролюкс»

Калибровочные таблицы и портативный прибор N-тестер играют основную роль в определении доз азотных удобрений. Таблицы используются для калибровки N-сенсора в поле. N-тестер, также как и N-сенсор, позволяет определять содержание хлорофилла в листьях растений.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений на опытных полях Агрофизического НИИ обеспечило 25%-ную экономию удобрений, повышение урожайности яровых зерновых культур на 15% и повышение класса зерна пшеницы до хлебопекарного.

5 УДОБРЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Средства химизации, используемые в земледелии (удобрения, пестициды, химические мелиоранты, регуляторы роста и др.), оказывают активное воздействие на окружающую среду. Экологические проблемы порождаемые интенсивным и не всегда грамотным применением средств химизации в земледелии могут принять глобальный характер. При бесконтрольном загрязнении ими почв, воздуха, водоемов токсические соединения переходят по трофическим цепям и накапливаются в растениях, организме животных и человека (рис. 91).

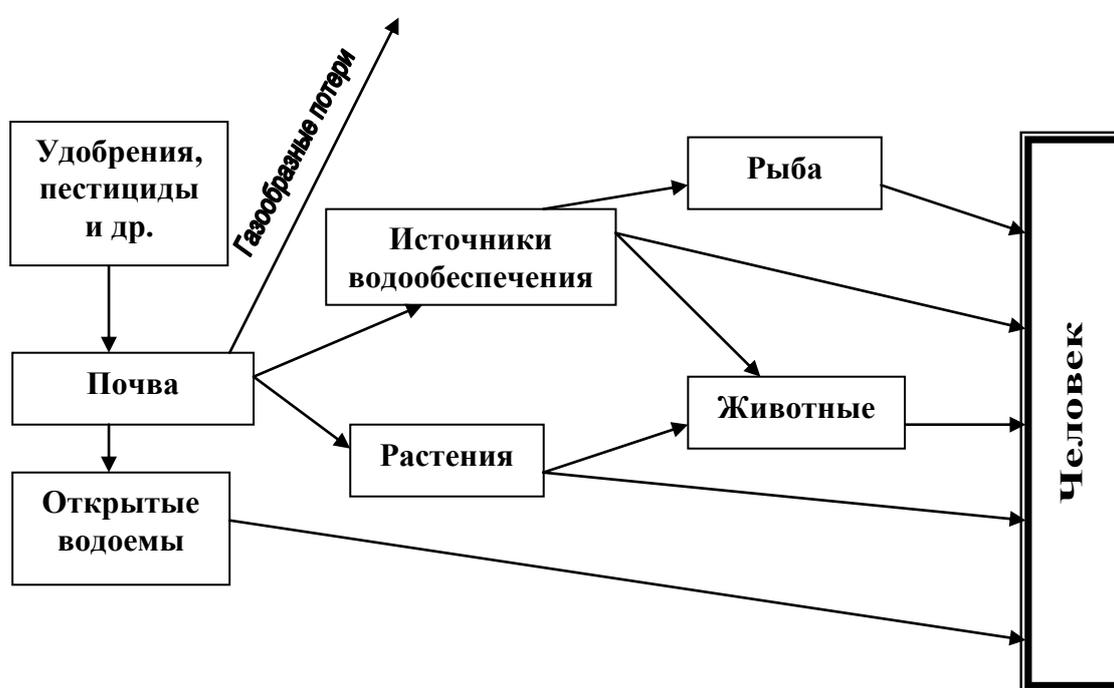


Рисунок 91 – Распространение загрязнителей в окружающей среде

Удобрения – не химически чистые соли, а технические продукты, содержащие в своем составе все то, что было в исходном сырье (тяжелые металлы, токсические соединения), только в других количествах.

Неблагоприятное воздействие удобрений, различных удобрительных отходов и химических мелиорантов можно свести к следующему:

– рассеивание их в окружающей среде сказывается на здоровье животных и человека;

– неграмотное применение их может ухудшить баланс питательных элементов, агрохимические свойства почвы и ее плодородие;

– нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств удобрений могут снизить урожайность сельскохозяйственных культур и ухудшить качество продукции;

– попадание питательных элементов в грунтовые воды с поверхностным стоком может привести к усиленному развитию водорослей, массовому образованию планктона – к *эвтрофикации* (эвтрофикации) природных;

– дисбаланс питательных макро- и микроэлементов в почве приводит к развитию разных заболеваний растений, ухудшающих фитосанитарное состояние почв и посевов.

Основными причинами, приводящими к загрязнению природы удобрениями, являются следующие:

- несовершенство технологии транспортировки, хранения, получения тукосмесей и внесения удобрений;

- нарушение агрономической технологии применения их в севообороте и под отдельные культуры;

- водная и ветровая (дефляция) эрозия почв;

- несовершенство качества удобрений;

- интенсивное использование промышленных, городских и бытовых отходов на удобрение без надлежащего контроля их химического состава.

Минеральные удобрения по своему составу не инородны живой природе. Например, в каком бы виде мы не вносили азот в почву (органическом или минеральном), в какой бы форме он не поступал в растение (нитратной, аммонийной, амидной) в синтез аминокислот и белков в растении вступает только восстановленная форма азота (NH_4^+), остальные формы восстанавливаются до нее. Поэтому, как источник питательных веществ органические и минеральные удобрения при правильном применении равноценны.

Однако земледельцу безопаснее и привычнее работать с органическими удобрениями, так как они менее концентрированные. Так по содержанию азота 1 ц мочевины приравнивается к 10 т навоза. Нарушения в технологии применения минеральных удобрений приводят к созданию высоких концентраций солей в почве, нарушению питания растений, пестроте посевов, ухудшению качества продукции, повышению поражения растений болезнями, полеганию и другим последствиям.

Минерализация органических удобрений идет медленно и высокая концентрация солей не создается, поэтому нарушения технологии здесь менее опасны, хотя и нежелательны, так как тоже могут привести к негативным последствиям.

Эффективность азота органических удобрений составляет от 16–50 до 86% от эффективности азота минеральных удобрений. Поэтому органические удобрения не могут полностью заменить минеральные.

Недостаток и избыток удобрений одинаково вреден. Недостаток приводит к истощению почвы, снижению урожайности, ухудшению его качества; избыток может привести к загрязнению почв, воды, продукции, атмосферы, отразиться на здоровье человека.

Ограниченное применение удобрений приводит к усилению процессов минерализации органического вещества почвы и поступлению в почвенный раствор ранее удерживаемых гумусом ксенобиотиков.

В природе трудно найти ландшафты, где почва, вода и выращиваемая продукция имели бы оптимальное соотношение всех химических элементов в соответствии с требованиями живого организма. Не случайно существуют биогеохимические провинции с большей частотой возникновения тех или иных заболеваний. Особенности почвенного покрова сказываются на развитии растений, их природном видовом составе, что используется в методе флористической диагностики при разведке месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, применение удобрений, являясь объективной необходимостью, требует постоянного контроля их качества, технологий внесения с целью получения запланированного урожая высокого качества, сохранения и повышения плодородия почвы и исключения возможного загрязнения почвы, воды, продукции, атмосферы.

Азотные удобрения оказывают наибольшее влияние на природную среду. Ранее было показано, что в зависимости от культуры, почвы, погодных и других условий из внесенных удобрений 30–60% потребляется растениями, 15–30 – аккумулируется в почве, 10–30 – теряется при денитрификации в виде газообразных продуктов, 1–5% вымывается из почвы. В качестве минимальных потерь азота в результате инфильтрации (вымывания) можно принять следующие величины (% от внесенного количества): на тяжелосуглинистых почвах – 0–0,5; среднесуглинистых – 0,5–1; супесчаных – 2–5, песчаных – 5–8 (в среднем 1–5%). Доля удобрений в общих потерях азота от вымывания составляет 10–15 %, остальные 90–95% потерь представлены азотом почвы.

В Нечерноземной зоне России в среднем ежегодно вымывается 10–15 кг/га нитратного азота: на супесчаных почвах – 20–25, на суглинистых – до 10 кг/га.

Потери азота могут происходить также в следующих случаях:

- при поверхностном внесении мочевины (после ее биологической аммонификации азот теряется в виде аммиака);
- при неглубокой заделке аммиачных форм азотных удобрений (аммиак диффундирует в надпочвенный слой воздуха);
- при совместном внесении щелочных удобрений с аммонийными формами азотных удобрений (происходит выделение аммиака);
- при эрозии вместе с потоком смываемой почвы.

Высказываются опасения о загрязнении атмосферы образующимися при аммонификации и денитрификации газообразными соединениями азота – аммиаком, оксидом и диоксидом азота. Ранее была высказана гипотеза, что одним из факторов, способных разрушить молекулы озона в высоких слоях

атмосферы, является окись азота, которая образуется из N-нитрозосоединений под действием УФ-излучения. Сами N-нитрозосоединения могут образовываться под действием УФ-излучения из нитритов и вторичных аминов, являющихся продуктами разложения органических остатков или имеющих антропогенное происхождение. Считается, что окись азота разрушает озоновый экран, что приводит к прорыву губительных для жизни ультрафиолетовых лучей в тропосферу и биосферу. Хотя международные эксперты не подтвердили существенного влияния удобрений на озоновый слой атмосферы, эта проблема требует дальнейших углубленных исследований.

Наибольшую проблему среди загрязнителей атмосферы представляет диоксид серы (SO_2), образующийся, в частности, при производстве некоторых удобрений. Оксиды серы и азота в атмосфере преобразуются в кислоты и могут выпадать в виде кислотных дождей на больших расстояниях от мест их выброса. Повреждающее действие его на растения заключается в подавлении фотосинтеза, быстром развитии некрозов, задержке или прекращении роста растений уже при самых низких концентрациях.

Способность почв удерживать питательные элементы всегда ограничена (песок < суглинки < глины). Установлено, что при внесении азота в дозах, превышающих потребность в нем растений, он накапливается на глубине 2–2,5 м, а с глубины 3 м – его содержание незначительно и не зависит от дозы. Если в этих слоях высокое содержание глины, аккумуляция азота отмечается выше, чем в почвах, сформированных на лессе. На пик накопления нитратного азота по горизонтам почвенного профиля влияет и количество осадков.

Существует также зависимость между потерями азота за счет вымывания и видом сельскохозяйственных культур. По снижению потерь их можно расположить в следующий ряд: овощные > кормовые корнеплоды > зерновые > кормовые травы. Освоение научно обоснованных севооборотов позволяет снизить непроизводительные потери азота из почвы.

При неграмотном использовании минеральных азотных удобрений высока вероятность загрязнения продукции нитратами. Правда, часто в составе нитратов, накапливаемых овощами, преобладает азот почвы (до 60–90%).

Сами нитраты не представляют опасности для организма человека и животных. Гораздо более опасны (в 10–20 раз) образующиеся в организме из нитратов нитриты, которые могут взаимодействовать с аминами и аминокислотами, образуя нитрозамины – канцерогенные вещества.

Организм способен нейтрализовать не более 300 мг нитратов в день, не давая им возможности превратиться в нитриты и нитрозамины.

Избыточное количество нитратов, поступивших в организм, под действием ферментативной деятельности пищеварительной системы превращается в нитриты, которые легко проникают в кровь и инактивируют гемоглобин, превращая его в метгемоглобин, который не может доставлять кислород к тканям организма. Человек заболевает *метгемоглобинемией* (синюшность), первые признаки которой по обобщенным данным медицинских исследований появляются при содержании в крови около 7% метгемоглобина, легкая форма болезни наблюдается при 10–20%, тяжелая – при 40% и более, а при 80%-ном замещении гемоглобина на метгемоглобин наступает смерть от удушья.

Нитриты поражают центральную нервную систему, повышается активность и частота сердцебиения, дыхания, повышается содержание молочной кислоты, холестерина, лейкоцитов в крови. Особенно остро реагирует на поступление нитритов молодой организм. Например, у молодых животных наблюдается замедление роста и полового созревания. Если содержание нитритов в молоке коров превышает 4 мг/кг, наблюдается падеж телят, питающихся этим молоком. У взрослых животных нитриты могут быть причиной самоабортирования.

Основными источниками нитратов для человека являются питьевая вода, овощные культуры, молоко, мясо, соки. В среднем на овощи приходится 70–80% нитратов, на питьевую воду – 10–15, остальные 5–20% – на мясопродукты,

молоко, фрукты, соки. При содержании в продуктах питания аскорбиновой кислоты (витамина С) в 2 раза большем, чем нитратов, реакция нитрозирования в организме резко замедляется или не протекает. Протекторным в этом отношении действием обладают и пектиновые вещества. Поэтому нитраты, содержащиеся в воде гораздо более опасны, чем в овощах и фруктах. ПДК N-NO_3 в воде хозяйственно-питьевого назначения и культурно-бытового водопользования составляет 10,0 мг/л.

Загрязнение почвенных вод нитратами может происходить при использовании высоких доз азотных удобрений, особенно нитратных, при проведении весенних подкормок озимых зерновых и многолетних трав «по черепку», при интенсивной минерализации органического вещества почвы и органических удобрений, при интенсивном орошении.

Условия повышения коэффициента использования растениями питательных элементов из удобрений, снижения непроизводительных потерь их в окружающую среду и получения качественной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию нитратов, сводятся к следующему:

- известкование кислых почв;
- применение азотных удобрений в соответствии с содержанием минерального азота в почве, минерализующей способностью почвы и данными растительной диагностики питания;
- преимущественное использование локальных способов внесения удобрений;
- дробное внесение азотных удобрений (последнюю подкормку азотом следует проводить за 4–6 недель до уборки урожая);
- не допускать единовременного внесения высоких доз азотных удобрений;
- на засоренных участках азотные удобрения следует применять только в сочетании со средствами борьбы с сорняками;

Для предотвращения загрязнения среды продуктами трансформации азотсодержащих удобрений необходима оценка всех статей баланса азота (в поле, севообороте, ландшафте, регионе) в системе почва–растение–удобрение–вода–атмосфера.

В последние годы возросло значение биологического азота, связанное с достижениями теоретической и прикладной микробиологии. Выведение штаммов бактерий *ризобиум*, в том числе методами геной инженерии, стало приоритетным в исследованиях симбиотической азотфиксации.

Параллельно ведется работа по селекции бобовых растений с повышенной азотфиксирующей способностью и хозяйственной продуктивностью. Заслуживают внимания исследования по ассоциативной азотфиксации злаковыми и другими небобовыми растениями за счет использования инокулянтов, стимулирующих процесс азотфиксации. По данным БГСХА, применение азоспириллы под ячмень дает возможность экономить до 30 кг/га азота минеральных удобрений.

Заслуживают внимания технологические разработки в области получения удобрений с регулируемым высвобождением азота из удобрения (капсулированные удобрения), которые позволяют сократить потери азота в окружающую среду, повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить качество продукции. Перспективно также использование ингибиторов нитрификации. Исследования Смоленской ГСХА с мочевиной, модифицированной ингибитором нитрификации КМЦ, свидетельствуют о задержке процессов нитрификации в почве на 1 месяц и сохранении азота в аммонийной форме.

Фосфорные удобрения из-за слабой подвижности в почве гораздо в меньшей степени теряются в окружающую среду, чем азотные. По данным ВИУА потери фосфора из удобрений составляют до 10 кг/га, в основном, за счет поверхностного смыва почвы. Внутрипочвенная миграция фосфора ничтожна – до 1 кг/га P_2O_5 в год.

С эмиссией фосфора в окружающую среду связывают эвтрофирование водоемов. В расчете на 1 кг поступившего в водоем фосфора (P_2O_5) образуется 100 кг фитопланктона (Минеев, 2004).

Для человека обогащение природных вод фосфором не опасно, если в пище отношение кальция к фосфору составляет 1 : 1 или 1 : 1,5 (по данным ФАО).

Избыток фосфора в почве может вызывать у растений мутации. По данным А.Ю. Кудеяровой (1995) повышение содержания общего фосфора в кислых почвах примерно на 10–15% относительно природных запасов соответствует предельному уровню нагрузки их водорастворимыми фосфатами, превышение которой может повлечь изменение направленности обмена веществ в растениях и смену почвенного микробиоценоза.

Вторым аспектом, связанным с использованием фосфорных удобрений, является вовлечение в круговорот с добываемыми фосфатными рудами фтора, стронция, кадмия и других тяжелых металлов (ТМ). С 1 т добываемого фосфора (P_2O_5) человек вводит в круговорот до 160 кг фтора, 30–40 – стронция, 20–25 кг оксидов урана, тория и другие элементы. Из сырья эти элементы попадают в удобрения, а затем в почву.

Так, в удобрения переходит 50–80% фтора, который при попадании в растения оказывает отрицательное влияние на фотосинтез, нарушает деятельность ряда ферментов (энолазы, фосфоглукумутаза, фосфатазы). Накапливаясь в продуктах питания и кормах, он отрицательно влияет на здоровье человека и животных.

По данным М.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой (1985) с 1 т вносимого с минеральными удобрениями фосфора (5 т простого суперфосфата) в почву попадает 20 г меди, 100 г свинца, 300 г мышьяка.

ТМ усиливают минерализацию органического вещества, вызывая негативные изменения в почвенно-поглощающем комплексе вследствие замещения кальция и магния другими элементами. При этом снижается ферментативная активность почвы, так как подавляется жизнеспособность

полезных микроорганизмов, активность многих ферментов, увеличивается численность грибов. Это снижает способность почвы к самоочищению.

Проникая в растения ТМ могут активно участвовать в метаболических процессах. В результате происходят изменения в направленности физиолого-биохимических процессов и реализации генетической программы растений, нарушаются естественно сложившиеся фитоценозы. Включаясь в пищевые цепи ТМ вызывают различные заболевания человека и животных: сердечно-сосудистые расстройства, тяжелые формы аллергии, обладают эмбриотропным (повреждение зародыша) и канцерогенным (вызывающим образование злокачественных опухолей) действием.

Тяжелые металлы относят к группе особо опасных загрязнителей объектов окружающей среды, так как они являются генетическими ядами, аккумулируются в организме и могут проявляться в наследственных заболеваниях и умственных расстройствах. Среди ТМ наиболее опасными являются кадмий, ртуть, свинец.

Так, кадмий вызывает разрушение эритроцитов, нарушение работы почек, кишечника, размягчение костной ткани, обладает мутагенным и канцерогенным действием и представляет генетическую опасность. К лицам повышенного риска в отношении отравления кадмием относят женщин 40 лет и старше, кормящих матерей, детей грудного и младшего возраста, людей с нарушением фосфорно-кальциевого обмена и заболеванием печени и почек.

Основными источниками поступления кадмия в окружающую среду являются промышленные выбросы, сточные воды, фосфорные и известковые удобрения, выбросы автотранспорта. Около 45% общего загрязнения этим элементом приходится на выплавку кадмия из руд, 52% попадает в атмосферу в результате сжигания или переработки изделий, содержащих кадмий (Соколов, Черников, 1999). Хотя на долю фосфорных удобрений приходится мизерная часть общей эмиссии кадмия в окружающую среду, при неграмотном использовании удобрений локальный уровень загрязнения может быть ощутимым.

По нормативам ФАО, ежедневное поступление кадмия в организм человека не должно превышать 0,07 мг/кг его массы, ПДК кадмия в бытовой воде составляет 0,01 мг/л. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) кадмия в почвах зависят от их свойств: на песчаных и супесчаных почвах – 0,5 мг/кг; на кислых ($pH_{КСІ} < 5,5$) суглинистых и глинистых почвах – 1,0, при $pH_{КСІ} > 5,5$ (суглинистые и глинистые почвы) – 2 мг/кг почвы (дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК №6229-91). Содержание кадмия в почве на уровне 5 мг/кг в 2 раза снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, а период его полувыведения из почвы составляет около 1100 лет (Соколов, Черников, 1999). По другим оценкам (Шильников с сотр., 1998) очищение почвы от загрязнения кадмием в естественных условиях может продолжаться около 200 лет.

Содержание кадмия в фосфорных удобрениях в значительной степени зависит от наличия его в исходном сырье и технологии производства удобрений (табл. 69). По разным источникам, концентрация кадмия в фосфорных удобрениях колеблется от 1 до 200 мг/кг, в австралийских фосфоритах – 4–109 мг/кг, в северо-африканских – 3–130, встречаются фосфориты с содержанием его до 980 мг/кг (Rothbaum et. al., 1986). Кольские апатиты и получаемые из них фосфорные удобрения являются самыми «чистыми» по кадмию. Удобрения, содержащие более 8 мг/кг кадмия, считаются потенциальными загрязнителями.

Таблица 69 – Содержание кадмия в фосфорных удобрениях разных стран-производителей, мг/кг

Страна-производитель	Кадмий
Россия	0,76 – 0,77
Марокко	42,5 – 49,8
Тунис	176,2 – 218,1

Так как кадмий в фосфорных удобрениях присутствует, в основном, в подвижном состоянии, он легкодоступен растениям. В почву ежегодно вносится в 2–3 раза больше кадмия, чем потребляется растениями. При

длительном постоянном применении фосфорных удобрений может сложиться ситуация опасного загрязнения им почвы.

Загрязнение почвы происходит не только кадмием, но и другими токсичными элементами и не только при использовании минеральных удобрений. Например, навоз также является источником накопления в почве ТМ. В нем содержится в среднем (мг/кг сухой массы): кадмия – 0,2, свинца – 4, цинка – 112, меди – 22, никеля – 7,2 (Попова, 1991)

Особую опасность с точки зрения загрязнения почв тяжелыми металлами представляют используемые на удобрение **отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс, сапропель** и другие аналогичные материалы.

Например, пиритные огарки, рекомендуемые в качестве медьсодержащего удобрения, в своем составе содержат 40–63% железа, 1–2 – серы, 0,33–0,47 – меди, 0,42–1,35 – цинка, 0,32–0,58 – свинца, 0,1–0,15% мышьяка и другие металлы. Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий: Са – 28,3%; SO₃ – 55,5; P₂O₅ – 1,5; Sr – 1,8–2,0% (Минеев, 2004).

В качестве известкового материала в последние годы стали использовать **карбонат кальция конверсионный (ККК)**, являющийся отходом производства сложных минеральных удобрений. Ежегодные объемы его образования на заводах в Смоленской, Новгородской, Кировской и Воронежской области составляют сотни тысяч тонн. Этот продукт сильно загрязнен стабильным стронцием, что может привести к нарушению отношения Са : Sr в почве. Низкие отношения Са : Sr повышают частоту заболевания населения рахитом, остеодистрофиями и другими опасными заболеваниями. Использование ККК должно сопровождаться контролем содержания в нем стронция и прогнозом накопления Sr в почве и растениях при его использовании. Следует с особой осторожностью использовать ККК в качестве мелиоранта на территориях с высоким уровнем загрязнения артезианских вод стабильным стронцием, к которым, в частности, относится Смоленская область.

В качестве органического и известкового удобрения предлагается использовать широко распространенные в нашей стране **сапропели** – отложения на дне водоёмов, имеющих органогенное и минеральное происхождение. Этот материал также необходимо предварительно анализировать на содержание ТМ и токсичных соединений.

Все приемы по снижению опасности техногенного загрязнения почв ТМ можно разделить на две группы: агромелиоративные и биологические.

Приемами, направленными на перевод ТМ в трудноусвояемое для растений состояние являются известкование, обогащение почвы органическим веществом, фосфатами, использование различных сорбентов (например, клиноптилолитсодержащих туфов – цеолитов).

Из биологических приемов можно рекомендовать:

- подбор растений с низкими коэффициентами биологического поглощения ТМ (технические или зерновые злаковые культуры);

- выращивание растений-концентраторов для извлечения ТМ из почвы на сильно загрязненных полях и использования их в технических целях: льна, конопли, клещевины, картофеля (для получения спирта, крахмала), сахарной свеклы (для получения сахара), эфиромасличных культур (для получения растительных масел и сырья для парфюмерной промышленности) и лекарственных растений. В отдельных случаях можно выращивать семенники овощных и кормовых культур, а также те культуры, от которых в пищу используют органы (части), слабо накапливающие ТМ (картофель, томаты, бахчевые культуры). На загрязненных ТМ полях нельзя выращивать овощные и кормовые культуры, используемые для производства продуктов питания и на корм скоту;

- адаптивную селекцию, направленную на выведение сортов с низким уровнем поглощения тяжелых металлов;

- использование эффекта «биологического разбавления массой» (суть его состоит в том, что с повышением урожайности, как правило, снижается относительное содержание ТМ в растительной массе);

– использование загрязненных почв для лесопосадок и выращивания декоративных растений.

По данным Бондарева (1976), на почвах, загрязненных ТМ, урожайность зерновых ниже на 20–30%, сахарной свеклы – на 35, бобовых – на 40, картофеля – на 47%, чем на незагрязненных почвах.

Калийные удобрения при внесении в оптимальных дозах не оказывают отрицательного влияния на окружающую среду, так как калий обменно поглощается почвенными коллоидами, хорошо усваивается растениями, слабо мигрирует по почвенному профилю. На почвах Нечерноземной зоны потери его при вымывании больше, чем фосфора и составляют 5–10 кг/га в год и более.

Калий повышает качество урожая, устойчивость растений к болезням, полеганию. Для кормовых трав важным показателем является содержание K_2O в урожае: по данным ВНИИ кормов оно не должно превышать 3,5%. Высокие дозы калийных удобрений ухудшают соотношения $K : (Ca+Mg)$ и $K : Na$. При отношении $K : (Ca+Mg) > 2,2-2,4$ и $K : Na > 6$ возрастает частота заболевания животных гипомagneзией. Оптимальным является отношение $K : (Ca+Mg) < 1,4$, а $K : Na = 5$.

С калийными удобрениями в почву попадает много хлора, который легко вымывается и попадает в водоемы, что может сделать воду непригодной для питья. Этот процесс особенно выражен на легких почвах. С 1 т КСI в почву попадает 350 кг хлора, примерно 10 кг которого, по обобщенным данным, усваивается растениями, а остальное количество – вымывается.

Калийные удобрения имеют важное экологическое значение на радиоактивно загрязненных территориях, так как они снижают поступление радионуклида ^{137}Cs в растения.

Значительный ущерб среде наносит бессистемное использование бесподстильного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений являются:

- недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что не только уменьшает выход высококачественного навоза, но и приводит к существенным потерям жидких органических фракций;

- использование для разбрасывания органических удобрений бульдозерной техники при недостатке навозоразбрасывателей приводит к неравномерному распределению органических удобрений по поверхности поля и снижению эффективности удобрений (в связи с этим использование бульдозеров для этой цели запрещено);

- загрязнение окружающей среды может быть следствием несоответствия численности животных и площади сельскохозяйственных угодий (оно не должно превышать 2–3 головы крупного рогатого скота в расчете на 1 га).

Для предотвращения потерь питательных элементов и снижения агрогенной нагрузки на почву при использовании бесподстилочного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства следует руководствоваться следующими общими положениями:

- доза азота, вносимого с бесподстилочным навозом, навозными стоками и другими отходами животноводства не должна превышать 200 кг/га;

- вносить жидкий навоз следует под наиболее отзывчивые культуры, образующие обильную биомассу (многолетние травы, кукурузу, кормовые корнеплоды);

- использование промежуточных культур (уплотненные посевы) в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие интенсивного использования их растениями;

- соблюдение сроков внесения (приближение их к периоду наибольшего потребления растениями элементов питания) должно быть основным принципом использования жидкого навоза, особенно на супесчаных почвах, имеющих низкую поглощательную способность;

- по санитарно-гигиеническим требованиям бесподстилочный навоз следует использовать на удобрение после шестимесячного хранения; вывезенный на поле навоз следует немедленно заделывать в почву;
- на сенокосах и пастбищах между последним внесением бесподстилочного навоза и использованием трав на корм необходимо соблюдать карантинный период не менее 20 дней;
- бесподстилочный навоз при осеннем внесении можно комбинировать с внесением соломы или зеленого удобрения;
- недопустимо внесение бесподстилочного навоза на участках, где есть угроза затопления паводковыми водами;
- в природоохранных целях между зоной применения бесподстилочного навоза и водоемами следует оставлять защитную полосу шириной 20–100 м в зависимости от местных водоохранных условий;
- для предупреждения засорения полей, потерь азота и соблюдения экологической чистоты при использовании бесподстилочного навоза следует компостировать его с торфом, соломой и другими влагоемкими материалами.

Таким образом, удобрения, являясь основой повышения урожайности и качества продукции, при неграмотном использовании могут нарушать экологическое равновесие природных систем. Отсюда особенно важным является овладение всем объемом знаний о научно-обоснованном использовании удобрений, а также изучение, оценка и прогноз состояния компонентов окружающей среды (почвы, растений, атмосферы, воды, животных, человека) в связи с хозяйственной деятельностью человека. Это является основой мониторинга.

Схема почвенно-агрохимического мониторинга приведена на рисунке 92.

Информация, полученная в результате мониторинга, позволяет сформировать базу данных и разработать экологически безопасные системы удобрений в севообороте, обеспечивающие их высокую экономическую эффективность и расширенное воспроизводство плодородия почв.

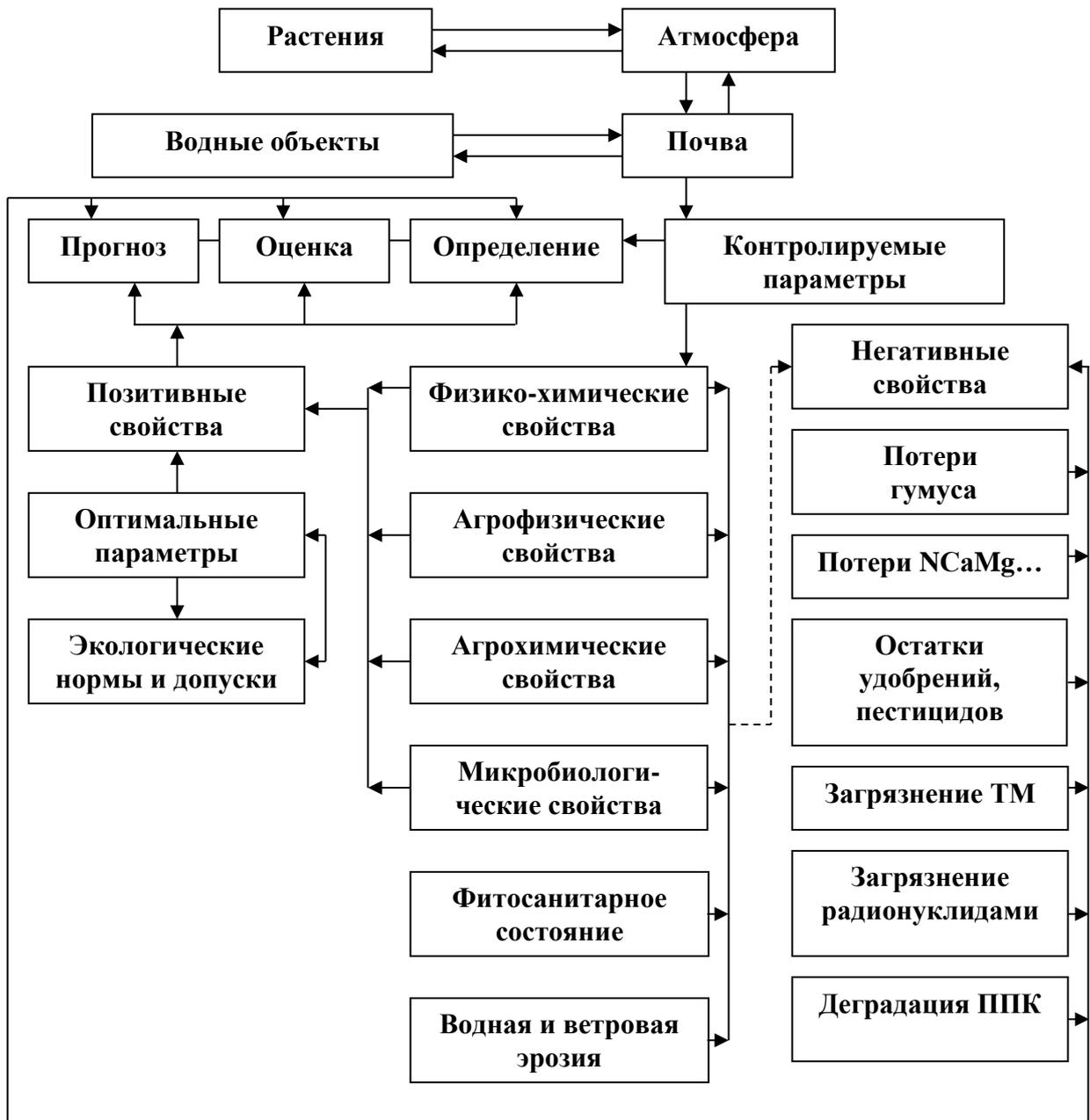


Рисунок 92 – Схема почвенно-агрохимического мониторинга

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите экологические проблемы, вызванные неправильным применением удобрений.
2. Назовите причины, приводящие к загрязнению окружающей среды при работе с удобрениями.
3. Каковы могут быть последствия неграмотного применения удобрений?
4. В чем выражается опасность загрязнения окружающей среды азотными удобрениями?
5. Чем опасны для человека нитраты и нитриты? Каков их безопасный уровень?
6. Что способствует накоплению нитратов в растениях?
7. Каков допустимый уровень содержания нитратов в растениеводческой продукции и воде?

8. Как можно снизить поступление нитратов в растения?
9. Что является причиной эвтрофикации водоемов?
10. Назовите источники загрязнения почвы и продукции тяжелыми металлами.
11. Какие тяжелые металлы присутствуют в удобрениях?
12. Как можно снизить поступление тяжелых металлов в растения?
13. Какие удобрения содержат хлор и фтор и как эти элементы влияют на растения?
14. Как сказывается на животных высокое содержание калия в пастбищном корме? Какие ограничения по его содержанию в сене вы знаете?
15. При каких нарушениях технологии использования органических удобрений появляется угроза загрязнения окружающей среды?

ЛИТЕРАТУРА

Дерюгин И.П., Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения. М: Ледум, 2000. 183 с.

Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Питание и удобрение овощных и плодовых культур. М.: Изд-во МСХА, 1998. 326 с.

Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П.. Система удобрения. М.: КолосС, 2002. 320 с.

Иванов И.Н., Иванов А.И., Иванова В.Ф. Научно-производственные основы системы удобрения в Нечерноземной зоне. – Великие Луки, Изд-во ВГСХА, 2002. 216 с.

Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.

Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Изд-во Московского университета, изд-во КолосС, 2004 г. 270 с.

Парфенов В.И., Якушев Б.И., Мартинович Б.С. и др. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси. Минск: Навука и тэхніка, 1995. 582 с.

Прянишников Д.Н. Избранные труды. М.: Наук, 1976. 591 с.

Соколов О.А., Черников В.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Книга 1. Пущино, 1999. 164 с.

Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М.: Изд-во ЦИНАО, 2003. 226 с.

Смоленская область в цифрах 2018: Краткий стат. сб. / Смоленскстат. Смоленск, 2018

Черных Н.А., Милащенко Н.З. Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. М.: Агроконсалт, 1999. 148 с.

Bergmann W. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Farbatlas. Jena, 1983. 254 p.

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
Введение.....	3
1 Химизация земледелия как важнейшее условие его устойчивого развития.....	7
2 Удобрения, их классификация, химический состав, технологические свойства, особенности применения.	26
2.1 Минеральные удобрения.....	28
2.1.1 Технологические свойства минеральных удобрений.....	28
2.1.2 Сырьевая база для производства минеральных удобрений и основные направления переработки сырья.....	32
2.1.3 Проблема кальция в земледелии и пути ее решения	39
2.1.4 Азотные удобрения.....	60
2.1.5 Фосфорные удобрения.....	73
2.1.6 Калийные удобрения.....	85
2.1.7 Микроудобрения.....	90
2.1.8 Комплексные удобрения.....	98
2.2 Органические удобрения.....	107
2.2.1 Подстилочный навоз и навозная жижа.....	109
2.2.2 Бесподстилочный навоз.....	115
2.2.3 Птичий помет.....	119
2.2.4 Солома как удобрение.....	121
2.2.5 Торф, торфяные компосты.....	124
2.2.6 Вермикомпост (биогумус).....	133
2.2.7 Зеленое удобрение.....	135
2.2.8 Сапропели.....	138
2.2.9 Бактериальные удобрения.....	140
3 Научные основы системы применения удобрений.....	143
3.1 Особенности системы удобрения в Нечерноземной зоне.....	147
3.2 Система удобрения на мелиорированных землях.....	152
3.3 Особенности системы удобрения на эродированных почвах.....	156
3.4 Особенности применения удобрений в условиях радиоактивного загрязнения почв.....	160
3.5 Приемы, сроки и способы внесения удобрений.....	170
3.6 Определение доз удобрений.....	188
3.7 Удобрение сельскохозяйственных культур.....	204
3.7.1 Озимые зерновые культуры.....	204
3.7.2 Яровые зерновые культуры (пшеница, ячмень, овес).....	214
3.7.3 Зернобобовые культуры.....	219
3.7.4 Гречиха.....	224
3.7.5 Лен-долгунец.....	229
3.7.6 Картофель.....	235
3.7.7 Кукуруза.....	243
3.7.8 Кормовые корнеплоды.....	251

3.7.9 Однолетние и многолетние травы.....	252
3.7.10 Овощные культуры.....	261
3.8 Удобрения и качество урожая.....	273
3.9 Проектирование системы удобрения в севооборотах.....	283
3.10 Баланс питательных элементов и гумуса в почве.....	288
4 Технология применения удобрений.....	293
4.1 Технология транспортировки, хранения и подготовки к внесению минеральных удобрений.....	293
4.2. Технологии внесения твердых минеральных удобрений.....	303
4.3 Технологии внесения жидких минеральных удобрений.....	309
4.4 Технологии внесения твердых органических удобрений.....	311
4.5 Технологии внесения жидких органических удобрений.....	313
4.6 Оценка качества подготовки и внесения удобрений.....	319
5 Дифференцированное внесение удобрений в системе точного земледелия	322
6 Удобрения и окружающая среда	329
Литература	348

Учебное издание

Самсонова Наталия Евгеньевна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УДОБРЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА». 214000, Смоленск, ул. Б. Советская, 10/2.