

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

А. А. КОРЧАГИН М. А. МАЗИРОВ
Н. А. КОМАРОВА

СИСТЕМА УДОБРЕНИЙ

Учебное пособие



Владимир 2018

УДК 631.8
ББК 40.40
К70

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук
профессор факультета агрономии и биотехнологии
Российского государственного аграрного университета –
МСХА имени К. А. Тимирязева
А. И. Беленков

Кандидат биологических наук
доцент кафедры биологии и экологии
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
О. Н. Сахно

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Корчагин, А. А. Система удобрений : учеб. пособие /
К70 А. А. Корчагин, М. А. Мазиров, Н. А. Комарова ; Владим. гос.
ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ,
2018. – 116 с. – ISBN 978-5-9984-0743-7.

Приведены теоретические знания о значении и роли элементов питания в жизни растений, характеристика минеральных удобрений, а также определение и описание системы удобрений. Показаны примеры систем удобрений в поле-вом, кормовом и овощном севооборотах. Дана методика составления курсовой работы по разработке системы удобрения в севообороте.

Предназначено для студентов специальностей 06.03.02 – Почвоведение и 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 34. Библиогр.: 8 назв.

УДК 631.8
ББК 40.40

ISBN 978-5-9984-0743-7

© ВлГУ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Глава 1. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ. СВОЙСТВА ПОЧВ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ	6
1.1. Состав и концентрация почвенного раствора.....	7
1.2. Свойства почв в связи с питанием растений и применением удобрений	9
1.3. Значение отдельных элементов в питании растений	11
1.3.1. Роль азота в питании растений.....	11
1.3.2. Содержание азота в почвах и динамика его соединений	13
1.3.3. Значение фосфора для растений	16
1.3.4. Влияние свойств почв на доступность фосфорных удобрений растениям.....	18
1.3.5. Роль калия в жизни растений	19
1.4. Минеральные удобрения.....	22
1.4.1. Свойства минеральных удобрений	22
1.4.2. Производство и применение азотных удобрений	26
1.4.3. Аммонийные и аммиачные удобрения	28
1.4.4. Аммиачно-нитратные удобрения.....	30
1.4.5. Амидные удобрения	31
1.4.6. Аммиакаты.....	33
1.4.7. Применение азотных удобрений под отдельные культуры	33
1.4.8. Фосфорные удобрения	36
1.4.9. Однозамещенные фосфаты.....	37
1.4.10. Двухзамещенные фосфаты	40
1.4.11. Трехзамещенные фосфаты.....	41
1.4.12. Сроки и способы внесения фосфорных удобрений	42
1.4.13. Калийные удобрения	44
1.4.14. Применение калийных удобрений под сельскохозяйственные культуры	47
Глава 2. СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ	49
2.1. Понятие, задачи и типы систем удобрений.....	49
2.2. Система удобрения в полевом севообороте.....	59
2.3. Система удобрения в кормовом севообороте	63
2.4. Система удобрения в овощном севообороте.....	66
2.5. Техника и технологии выполнения работ при хранении, доставке и внесении удобрений	68

Глава 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ	73
Цель и задачи курсового проекта (работы)	73
Содержание курсового проекта	74
3.1. Введение	75
3.2. Общие сведения о хозяйстве	75
3.3. Характеристика почвенно-климатических условий хозяйства.....	75
3.4. Определение накопления органических удобрений в хозяйстве	76
3.5. Химическая мелиорация почв	78
3.6. Определение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры и расчет потребности удобрений в севообороте	79
3.6.1. Определение норм органических удобрений на основе баланса гумуса в севообороте	79
3.6.2. Предложения по увеличению выхода органических удобрений в хозяйстве.....	83
3.6.3. Расчет норм удобрений в системе комплексного агрохимического окультуривания полей.....	84
3.6.4. Определение норм удобрений под озимые культуры, возделываемые по интенсивной технологии	90
3.6.5. Расчет норм удобрений на планируемую урожайность методом элементарного баланса.....	92
3.6.6. Разработка системы и плана применения удобрений в севообороте на основе прямого использования результатов полевых опытов	96
3.6.7. Расчет годовой потребности удобрений для севооборота	99
3.7. Расчет ожидаемого баланса питательных веществ в севообороте и прогноз возможного изменения почвенного плодородия по завершении ротации севооборота.....	100
3.8. Расчет энергетической эффективности применения удобрений в севообороте	105
 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	111
ПРИЛОЖЕНИЕ	112

ПРЕДИСЛОВИЕ

Применение удобрений при производстве сельскохозяйственной продукции – необходимое условие устойчивости сельскохозяйственного производства. Принятый в 90-е годы курс на альтернативные системы земледелия, предусматривающие отказ от применения минеральных удобрений, показал свою полную несостоятельность. Урожайность культур при таких системах была на порядок ниже, при этом затраты на производство продукции многократно возросли. Недаром в настоящее время в развитых странах доля таких хозяйств относительно невелика.

Применение удобрений базируется на одном из важнейших законов земледелия – законе возврата, который гласит: вещество и энергия, отчужденные из почвы с урожаем, должны быть компенсированы (возвращены в почву) с определенной степенью превышения. Этот закон был открыт основателем теории минерального питания растений Юстасом Либихом. К. А. Тимирязев и Д. Н. Прянишников считали этот закон одним из величайших приобретений науки.

При систематическом отчуждении урожая с полей без компенсации использованных элементов питания и энергии почва разрушается, теряет плодородие. В связи с этим возникает необходимость возврата питательных веществ. При компенсации выноса веществ по закону возврата можно создавать условия для улучшения почвы, ее расширенного воспроизводства, когда возврат веществ превышает вынос. Это служит теоретическим обоснованием возврата в почву элементов питания за счет минеральных удобрений.

Чтобы решить эту задачу, необходимо знать теорию и методологию разработки научно обоснованной системы удобрений. Решению этой задачи и посвящено данное учебное пособие.

Глава 1. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ. СВОЙСТВА ПОЧВ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ

Фотосинтез – процесс образования органических веществ растениями из углекислоты и воды при участии солнечной энергии*.

Корни растения поглощают из почвы воду и элементы минерального питания, служат своеобразным якорем, удерживающим надземную часть растения, синтезируют органические соединения, необходимые растительному организму, и выделяют продукты метаболизма. Корни должны обладать способностью выполнять все эти функции, не ограничивая рост растений.

Корень имеет сложное морфолого-анатомическое строение. В соответствии с выполняемыми им функциями в строении корня выделяют корневой чехлик и четыре зоны: деления, роста, поглощения, проведения. Важно знать значение и функции этих зон корня, так как ими определяются параметры агротехнических приемов: глубина основной и предпосевной обработок почвы, глубина и способ заделки удобрений, глубина и ширина культивации при уходе за растениями.

Функции корневого чехлика – защита точки роста и обеспечение корням положительного геотропизма. К корневному чехлику примыкает зона деления, составленная клетками меристемы. Меристема в процессе митотического деления откладывает клетки внутрь, обеспечивая рост корня, и наружу, пополняя клетки корневого чехлика. За зоной деления следует зона роста. Клетки зоны роста практически не делятся, но способны растягиваться в продольном направлении, проталкивая корневое окончание вглубь почвы. Они характеризуются высоким тургором, что способствует активному раздвиганию почвенных частиц. В пределах зоны роста происходит дифференциация первичных проводящих тканей. За зоной роста располагается зона поглощения. В ней из клеток первичной покровной ткани – эпиблемы – образуются многочисленные корневые волоски, которые служат опорой для растущей верхушки корня, выполняют функции поглощения

* Студентам предлагается самостоятельно повторить материал, изучаемый в школьной программе.

воды и элементов минерального питания из почвы. Всасывающий аппарат корня – подвижное образование, меняющее свое местоположение в почве. С его ростом становится возможным использование все новых запасов воды и элементов минерального питания.

В поступлении к поверхности корня питательных веществ участвуют три механизма: корневой перехват, массовый поток, диффузия. Вклад каждого из этих механизмов зависит от интенсивности поглощения веществ корнем и обеспеченности почвы питательными веществами.

Доля корневого перехвата в питании растений небольшая, так как объем корневой системы в почве не превышает 1 – 2 % от общего объема почвы. Корневой перехват играет существенную роль лишь при содержании в почве питательных веществ в больших количествах по сравнению с потребностями растения.

Массовый поток – это передвижение питательных элементов через почву к корням в конвективном потоке воды, вызванном ее поглощением растениями. Количество питательных элементов, передвигающихся в массовом потоке, зависит от поглощения воды растениями и концентрации в ней этих элементов. Массовый поток в питании растений варьируется в широких пределах в зависимости от культуры и почвенно-климатических условий.

Диффузия. Поглощение корнем питательных веществ сопровождается уменьшением их концентрации в почве, что создает предпосылки для диффузии элементов питания в почве по градиенту к поверхности корня.

1.1. Состав и концентрация почвенного раствора

Почвенный раствор находится в постоянном и тесном взаимодействии с твердой и газовой фазами почвы и корнями растений, поэтому состав и концентрация его являются результатом биологических и физико-химических процессов, лежащих в основе этого взаимодействия. Темп и направление процессов подвержены значительной сезонной изменчивости, поэтому и состав почвенного раствора чрезвычайно динамичен. В нем содержатся минеральные, органические и органо-минеральные вещества, представленные ионами, молекулами и коллоидами. Кроме того, здесь присутствуют кислород, диоксид углерода и другие растворенные газы. Из минеральных соеди-

нений в почвенном растворе присутствуют анионы: HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , OH^- и катионы Fe^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . В сильнокислых почвах могут быть также Al^+ , Fe^{3+} , а в заболоченных – Fe^{2+} . Железо и алюминий в почвенных растворах содержатся в основном в виде устойчивых комплексов с органическими веществами.

Органические соединения в почвенном растворе представлены органическими кислотами, сахарами, аминокислотами, спиртами, ферментами, дубильными веществами и другими продуктами метаболизма растений и микроорганизмов, а также гумусовыми веществами. Общая концентрация почвенного раствора невелика и, как правило, колеблется в пределах 0,02 – 0,2 %. Более высокое содержание растворенных веществ бывает лишь в солончаках, солончаковых и солончаковатых почвах. Изучение влияния концентрации почвенного раствора на поглотительную способность корней особенно важно при внедрении интенсивной системы возделывания сельскохозяйственных культур, предусматривающей применение высоких доз минеральных удобрений. При повышении концентрации почвенного раствора и изменении ионного состава нарушаются регулярные системы, осуществляющие контроль за поглощением элементов минерального питания. Превышение осмотического давления в почвенном растворе над осмотическим давлением клеточного сока губительно действует на растения, так как резко ограничивает поглощение растениями воды и питательных веществ, что приводит к плазмолизу клеток. Почвенный раствор должен быть физиологически уравновешенным, в котором катионы и анионы находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное использование питательных веществ растением.

Все разнообразие взаимодействий элементов с растительным организмом можно свести к трем случаям: аддитивности, антагонизму и синергизму.

Аддитивность (от лат. *additivus* – прибавленный) – действие смеси элементов в растворе равно сумме действия каждого отдельного элемента.

Способность растений поглощать минеральные элементы подчиняется закону постоянства соотношения суммы поглощенных катионов к сумме анионов.

Антагонизм (от греч. anti – против, и gonizomai – борюсь). Это взаимодействие, при котором физиологический эффект действия смеси меньше, чем эффект от действия каждой соли, взятой в отдельности. Антагонизм проявляется в том, что катионы разных элементов конкурируют друг с другом, причем сказывается значение их валентности: одновалентные катионы менее конкурентоспособны, чем двухвалентные. Явление антогонизма установлено между Fe и Ca; Al и Na; Fe и Zn; Mn и Zn; Si и Zn; Zn и Fe, Mn, Cu, Mo.

Синергизм (от греч. synergeia – совместное действие) – взаимное усиление физиологического действия на растение каждого из элементов, входящего в раствор. Синергизм может наблюдаться как между разнозаряженными ионами, катионами и анионами, так и между одноименно заряженными. Явление синергизма характерно между S и Mn, Zn; Cu и Co, B, Zn; Mn, Co, Si и Mo; Si и Mn; Ca и Co.

1.2. Свойства почв в связи с питанием растений и применением удобрений

Общий запас питательных веществ в почве и содержание их в доступных для растений формах, интенсивность процессов перехода питательных веществ из неусвояемого состояния в усвояемое и обратно определяют условия питания растений и потребность этих растений в удобрении. При высоком содержании усвояемых питательных веществ в почве потребность в удобрениях снижается, а при низком – возрастает. В зависимости от состава и свойств почвы общий запас и количество усвояемых питательных веществ в разных почвах неодинаковы.

Внесенные в почву удобрения подвергаются разнообразным превращениям, в результате чего изменяются растворимость содержащихся в удобрениях питательных веществ, способность их к передвижению в почве и доступность для растений. В разных почвах эти процессы проходят неодинаково. Вместе с тем удобрения сами оказывают сильное действие на почву: обогащают ее питательными веществами, изменяют реакцию почвенного раствора, интенсивность и характер микробиологических процессов и другие свойства, определяющие плодородие почв. Поэтому знание состава почв, ее свойств и происходящих в ней физико-химических, химических и биологиче-

ских процессов очень важно для понимания характера превращений в ней удобрений, наиболее эффективного применения удобрений в соответствии с требованиями возделываемых растений и почвенно-климатическими условиями.

Почва состоит из твердой фазы, жидкой, или почвенного раствора, и газовой фазы, или почвенного воздуха, которые находятся между собой в тесном взаимодействии.

Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием углекислого газа и несколько меньшим – кислорода. В почве постоянно происходит потребление кислорода и выделение CO_2 при разложении органического вещества микроорганизмами, дыхании корней растений и в результате некоторых химических реакций. При нормальной аэрации 1 м^3 почвы под растениями выделяет в летний период от 2 до 10 л CO_2 в сутки и потребляет такое же количество O_2 . При недостатке кислорода ухудшаются дыхание и рост корней, уменьшается усвоение растениями питательных веществ. В условиях плохой аэрации при снижении концентрации кислорода в почвенном воздухе в почве начинают преобладать анаэробные восстановительные процессы. Хорошая аэрация создает в почве благоприятные условия для развития почвенных микроорганизмов, питания и роста растений.

Почвенный раствор – наиболее подвижная и активная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой растения непосредственно усваивают питательные вещества. В зависимости от типа почвы и других условий в почвенном растворе содержатся анионы (HCO_3^- , OH^- , Cl^- , NO_3^- , H_2PO_4^- и др.), катионы (H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.), а также водорастворимые органические вещества и растворенные газы (кислород, углекислый газ, аммиак и др.). При внесении удобрений в почвенном растворе повышается содержание солей. Усвоение питательных веществ растениями, вымывание растворенных соединений в нижележащие горизонты или переход их в нерастворимые формы приводят к уменьшению концентрации почвенного раствора.

Твердая фаза почвы содержит основной запас питательных веществ для растений. Она состоит из минеральной части (90 – 99 % массы твердой фазы) и органической, которая играет очень важную роль в ее плодородии. Почти половина твердой фазы приходится на

кислород, одна треть – на кремний, более 10 % – на алюминий и железо и только 7 % – на остальные элементы. Минеральная часть почвы состоит из частиц различных минералов размером от миллионных долей до 1 мм и более. Почвенные минералы подразделяются на первичные и вторичные. В состав минеральной части входят аморфные вещества (гидроксиды алюминия, железа и кремнезема) и различные соли (карбонаты, сульфаты, нитраты, хлориды, фосфаты кальция, магния, калия, натрия и т. д.). Органическое вещество почвы представляет собой сложный комплекс разнообразных органических веществ, которые подразделяются на негумифицированные органические вещества растительного или животного происхождения и органические вещества специфической природы – гумусовые, или перегнойные.

Разные типы почв отличаются по составу минеральной части, количеству и составу органического вещества. В связи с этим содержание основных элементов питания растений в различных почвах также неодинаково. Содержание усвояемых форм питательных веществ в зависимости от типа почвы, степени ее окультуренности, предшествующей удобренности может быть различным не только в разных хозяйствах, но и на отдельных полях одного и того же хозяйства. Поэтому агрохимические анализы почвы для определения подвижных форм азота, фосфора и калия наряду с проведением полевых опытов имеют важное значение для правильного и дифференцированного применения удобрений.

В связи с изучением состава и свойств различных почвенных фаз, поглотительной способности почв в «Химии почв» студентам предлагается самостоятельно повторить этот материал.

1.3. Значение отдельных элементов в питании растений

1.3.1. Роль азота в питании растений

Азот – один из основных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав всех простых и сложных белков, которые являются главной составной частью цитоплазмы растительных клеток, и в состав нуклеиновых кислот. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах. Главным источником азота для питания растений служат соли азотной кислоты и аммония.

Азот, поступивший в растения в минеральных формах, проходит сложный цикл превращений, конечным этапом которых будет включение его в состав белковых молекул. Принято считать, что все обычно доступные источники азота превращаются в аммоний прежде, чем растение ассимилирует их в органические соединения. Основные источники доступного азота – газообразный азот из атмосферы и нитратный и аммонийный азот из почвы.

Наиболее интенсивное поглощение растениями азота из почвы и его использование для синтеза аминокислот и белков происходят в период максимального роста и образования вегетативных органов и листьев. Общее содержание азота сильно варьируется в разных растениях и в различных частях одного и того же растения. В семенах содержится больше азота, чем в листьях и стеблях в конце вегетации.

Растительные белки содержат в среднем около 16 % азота, или 1/6 их массы. Качество зерна и другой сельскохозяйственной продукции часто оценивают по показателю «сырого белка», под которым понимается все количество азотистых соединений в растении, подавляющая доля которых в зерне приходится на белок. Содержание «сырого белка» рассчитывают умножением общего содержания азота на коэффициент 6,26.

Условия азотного питания сильно влияют на рост и развитие растений. При недостатке азота рост их резко ухудшается. Особенно сильно сказывается недостаток азота на развитии листьев: они становятся мелкими, приобретают светло-зеленую окраску, преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшаются также формирование и развитие репродуктивных органов и налив зерна.

При нормальном азотном питании растений повышается синтез белковых веществ, усиливается и дольше сохраняется жизнедеятельность организма, ускоряется рост и несколько замедляется старение листьев. Растения образуют мощные стебли и листья, имеющие интенсивно зеленую окраску, хорошо растут и кустятся. В результате резко повышаются урожай и содержание белка в урожае. Однако одностороннее избыточное азотное питание, особенно во второй половине вегетации, задерживает созревание растений, они образуют большую вегетативную массу, но мало зерна или клубней и корнеплодов.

Качество урожая зависит от формы азота, используемого растениями. При аммиачном питании повышается восстановительная способность растительной клетки, больше образуется восстановленных органических соединений (например, эфирных масел в перечной мяте). При нитратном питании, наоборот, преобладает окислительная способность клеточного сока, больше образуется органических кислот, в частности, лимонной кислоты в махорке.

Отношение растений к аммиачному и нитратному азоту зависит от ряда факторов: реакции среды, наличия в ней сопутствующих катионов, анионов и зольных элементов (фосфора, серы, калия, микроэлементов), от концентрации в растворе кальция, магния, аммонийных и нитратных солей, а также от обеспеченности растений углеводами. При нейтральной реакции почвенного раствора аммиачные соли усваиваются растениями лучше, чем нитратные, а при кислой – хуже. Большое влияние на поглощение растениями аммиачного или нитратного азота оказывает концентрация сопутствующих катионов и анионов. При аммиачном питании положительно влияет на урожай увеличение в питательном субстрате концентрации кальция, магния и калия, а при нитратном питании важное значение имеет достаточное обеспечение растений фосфором и молибденом. При недостатке молибдена задерживается восстановление нитратов до аммиака и происходит накопление их в тканях растений. Усвоение аммиачного азота растениями в сильной степени зависит также от внутренних условий в самих растениях, от обеспеченности их углеводами. При недостатке углеводов мало образуется органических кислот, играющих роль акцепторов для связывания аммиака.

1.3.2. Содержание азота в почвах и динамика его соединений

Содержание азота в земной коре, по данным А. П. Виноградова, $2,3 \cdot 10^{-2} \%$, а общие запасы его исчисляются десятками миллиардов тонн. Основная часть азота содержится в почве в виде сложных органических соединений. Кроме того, часть азота земной коры находится в виде необменно-поглощенных ионов аммония и удерживается в кристаллической решетке алюмосиликатных минералов. В пахотном слое (0 – 25 см) разных почв содержание азота колеблется в широких пределах (от 0,05 до 0,5 %).

Общее содержание азота в почвах зависит от содержания в них органических веществ: больше всего азота в наиболее богатых гумусом мощных черноземах, а меньше – в бедных гумусом дерново-подзолистых почвах и сероземах.

Содержание азота в почве сильно различается также в пределах одной и той же почвенной зоны. Например, почвы черноземной зоны европейской части страны содержат следующие количества общего азота: супесчаная – 0,05 – 0,07 %, суглинистая – 0,10 – 0,20 %, глинистая – 0,10 – 0,23 %, торфянистая – 0,6 – 1,0 %. Общий запас азота в пахотном слое одного гектара колеблется в разных почвах от 1,5 т в супесчаной дерново-подзолистой почве до 15 т в мощном черноземе. Однако обеспеченность сельскохозяйственных растений азотом зависит не столько от валового содержания его в почве, сколько от содержания усвояемых растениями минеральных соединений. Основная масса азота в почве, содержащаяся в различных органических соединениях (94 – 95 %) или в форме аммония, необменно-фиксированного глинистыми минералами (3 – 5 %), недоступна или трудно доступна растениям. Только малое количество азота (около 1 %) содержится в легкоусвояемых растениями минеральных формах (NO_3^- и обменного NH_4^+). В связи с этим нормальное обеспечение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических соединений. Разложение органических азотистых соединений в почве в общем виде может быть представлено схемой: белки, гуминовые вещества → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты.

Распад азотистых органических веществ почвы до аммиака называется аммонификацией. Аммонификация осуществляется обширными группами аэробных и анаэробных микроорганизмов: бактерий, актиномицетов и плесневых грибов. Аммонификация происходит во всех почвах при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильноокислой и щелочной реакциях она сильно замедляется. В анаэробных условиях азотистые органические вещества разлагаются до аммиака. В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов.

Нитрификация осуществляется группой специфических бактерий, для которых это окисление является источником энергии. Сущность нитрификации была изучена С. Н. Виноградовым. Он выяснил, что в окислении аммиачных солей до азотистой кислоты (первая фаза)

принимают участие бактерии рода *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и *Nitrosospira*, а до азотной кислоты (вторая фаза) – бактерии рода *Nitrobacter*.

В основе нитрификации лежит дегидрирование аммиака, осуществляемое дегидразой, и соединение азота с кислородом посредством соответствующих оксидаз. Образовавшаяся в почве в результате нитрификации азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями почвы.

При хорошем доступе воздуха, влажности почвы 60 – 70 % капиллярной влагоемкости, температуре 25 – 32 °С и рН 6,2 – 8,2 нитрификация протекает интенсивно и основная масса аммиачного азота быстро окисляется до нитратов.

Интенсивность минерализации органического вещества в разных почвах неодинакова. Так, в дерново-подзолистых почвах она протекает интенсивнее, чем в черноземах. На скорость окисления аммиака до нитратов влияют также обработка почвы, известкование и удобрения. В почве, занятой растениями, особенно злаками, накопление нитратов почти не происходит из-за слабого развития процессов нитрификации (вследствие уплотнения почвы и поглощения нитратного азота корнями растений). Обработка почв, особенно тяжелых, а также известкование кислых усиливает нитрификацию. На бедных основаниями, плохо аэрируемых кислых торфянистых почвах, а также слабокультуренных, обедненных кальцием кислых дерново-подзолистых почвах процессы нитрификации, как правило, развиваются слабо. При внесении извести снижается кислотность почвы, повышается жизнедеятельность нитрификаторов, почва обогащается кальцием, необходимым для связывания нитратов в форму $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Органические и минеральные удобрения обогащают почву азотом и зольными элементами и значительно усиливают процессы минерализации в ней. С органическими удобрениями вносятся органические вещества, стимулирующие жизнедеятельность микроорганизмов, и разнообразная микрофлора (например, с навозом), ускоряющая разложение органического вещества почвы. Минеральные удобрения повышают интенсивность биологических процессов в почве, так как служат источником питания микробов азотом, фосфором, калием, кальцием и другими элементами.

В процессе нитрификации часть нитратов может подвергаться денитрификации – процессу восстановления нитратного азота до га-

зообразных форм (NO , N_2O , N_2). В результате этого происходит потеря азота из почвы. Осуществляется денитрификация обширной группой бактерий-денитрификаторов (*Bact. denitrificans*, *Bact. stutzeri*, *Bact. fluorescens*, *Bact. pycnosaneum* и др.). Этот процесс особенно интенсивно развивается в условиях, когда в почве отсутствует воздух, почва имеет щелочную реакцию и в избытке органическое вещество, богатое клетчаткой, глюкозой или другими углеводами. Денитрифицирующие бактерии быстро окисляют углеводы до CO_2 , используя для этого кислород нитратов.

1.3.3. Значение фосфора для растений

Влияние фосфора на жизнь растений весьма многосторонне. Хорошее фосфорное питание повышает урожай и улучшает его качество. У хлебов увеличивается доля зерна в общей массе, зерно становится более богатым крахмалом. В корнеплодах и плодах накапливается больше углеводов. Прядильные культуры имеют более длинное и прочное тонкое волокно. Фосфор ускоряет развитие культур, что позволяет в южных регионах уменьшить опасность попадания зерновых под суховеи, а в северных – яровых хлебов под заморозки (ранней осенью). Повышенное содержание растворимых углеводов в клеточном соке понижает точку замерзания растений, что приводит к усилению зимостойкости озимых культур и многолетних бобовых трав под влиянием фосфорных удобрений, вносимых с осени. Увеличиваются прочность соломины и стойкость к полеганию у хлебов.

В растениях фосфор находится в фосфопротеидах, фосфолипидах, фитине, сахарофосфатах, АТФ, входит в состав ферментов и витаминов. Главный источник фосфора для растений в природных условиях – соли ортофосфорной кислоты. Также могут быть использованы всеми культурами пиро- и полифосфаты после гидролиза. Метафосфаты усваиваются и без гидролиза, но в основной своей массе тоже подвергаются гидролизу, так как обычно представлены полимерами, например $(\text{KPO}_3)_n$.

Будучи трехосновной, ортофосфорная кислота может отдиссоциировать три аниона: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . В почвенных условиях, когда рН раствора колеблется от 5 (дерново-подзолистые почвы) до 7 (черноземы), растения имеют в своем распоряжении главным образом H_2PO_4^- и в меньшей степени HPO_4^{2-} . В почве имеются только соли

ортофосфорной кислоты, но в сложных удобрениях могут быть и соли мета-, пиро-, полифосфорных кислот.

Избыток фосфора ведет к плохому использованию его растениями, так как в этом случае много фосфатов находится в минеральной форме. Содержание фосфора в растениях, почве и удобрениях принято выражать как его пятиокись P_2O_5 .

Способность почв к поглощению фосфорной кислоты настолько велика, что для полного ее насыщения необходимо внести от 5 до 10 т P_2O_5 на 1 га. Валовое содержание P_2O_5 в пахотном слое достигает лишь 3 – 6 т/га. Водорастворимые соли фосфорной кислоты, попадая в почвы (с рН от слабокислой до слабощелочной) с удобрениями, превращаются через некоторое время в результате химического связывания в двухзамещенные фосфаты кальция и магния ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4$) и долгое время остаются в этом виде, доступном для всех культур. Затем начинается постепенное замещение оставшегося в двухзамещенной соли иона водорода кальцием или магнием с образованием трехзамещенных фосфатов этих металлов $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и более основных фосфатов. Но и эти соли пока они находятся в свежесозданном аморфном состоянии сохраняют свойства заметно растворяться в слабых кислотах, а значит, остаются в частично усвояемом для растений виде. Только по мере «старения» трехзамещенные и более основные соли фосфорной кислоты становятся недоступными для большинства растений.

Хуже обстоит дело в кислых почвах, где за счет водорастворимых фосфатов кальция могут появляться фосфаты железа и алюминия. Лишь при внесении в почву извести происходит обратный переход фосфатов полуторных окислов в фосфорнокислые соли кальция и магния.

Внешние симптомы фосфорного голодания растений проявляются в синевато-зеленой окраске листьев, нередко с пурпурным или бронзовым оттенком (свидетельство задержки синтеза белка и накопления сахара). Листья мельчают и развиваются более узкими, края их загибаются кверху (например, у картофеля). У табака листья располагаются под прямым углом к стеблю, пластинка их вытягивается.

На фосфаты в почве оказывают влияние органические вещества, влажность и температура. Гуматы натрия увеличивают подвижность в почве фосфатов кальция. Добавление гумуса повышает действие мо-

нофосфата кальция, т. е. действует адсорбционное поглощение органических анионов на почвенных коллоидальных частицах (в том числе полуторных окислов с положительным зарядом), что мешает связыванию ими фосфатного аниона и тем самым увеличивает его доступность растению. Это вызвано тем, что многие органические кислоты (винная, лимонная, малеиновая, малоновая, молочная, щавелевая) связывают в кислой среде катионы алюминия и железа, мешая им переводить фосфат-ионы в труднорастворимую и плохо доступную растениям форму.

Слабая по сравнению с азотом и калием доступность растениям фосфора даже из растворимых удобрений и запасов почвы обусловлена рядом причин:

- крайне слабая диффузия фосфат-ионов в почве (вследствие энергичного химического, физико-химического и биологического связывания их ее компонентами);

- недостаточный охват усваивающей корневой системой всего объема почвы (в контакте с корнями находится лишь 1/250 объема почвы);

- часто низкий уровень влажности почвы, затрудняющий и без того слабую диффузию в ней фосфатов.

1.3.4. Влияние свойств почв на доступность фосфорных удобрений растениям

Во всякой почве имеются минеральные и органические соединения фосфорной кислоты. В почве с нейтральной реакцией основные запасы минеральных фосфатов представлены тонко измельченным апатитом. Кислые почвы содержат преимущественно фосфаты железа и алюминия, доступность которых растениям ниже, чем фосфор апатитов. Но при известковании кислых почв часть фосфатов полуторных окислов превращается в фосфаты кальция, что и сказывается положительно на фосфорном питании растений. Растворимые фосфаты, внесенные в кислую почву после ее известкования, более доступны растениям, чем примененные до известкования.

Органические соединения фосфора в почве находятся в гумусе и фитатах. При этом кальциевые и магниевые соли фитина содержатся в нейтральных почвах, а фитаты алюминия и железа – в кислых. Органические фосфаты в почве минерализуются различными микроба-

ми. Часть фосфора в почве находится в составе тел самих микроорганизмов. Фосфорнокислые соли всех одновалентных катионов хорошо растворяются в воде и легко усваиваются корневой системой. Растения усваивают и фосфорнокислые соли, растворяющиеся в слабых кислотах. Эти кислоты выделяют корни растений и микроорганизмы (при нитрификации – азотная, при окислении восстановленной серы белков и аминокислот – серная, в ходе минерализации органических веществ – фосфорная, благодаря дыханию и брожению – угольная и органическая кислоты). В этих кислотах растворяются двухзамещенные фосфорнокислые соли двухвалентных катионов (кальция и магния), что делает их доступными растениям. Трехзамещенные соли двухвалентных катионов не растворимы в воде и мало растворимы в слабых кислотах, поэтому не могут быть источником фосфора для большинства культур. Исключение составляют такие растения, как люпин, гречиха, горчица, горох, донник, эспарцет. Эти растения сами выделяют кислоту через корни и в их составе преобладает кальций над фосфором.

Использование растениями органических фосфатов почвы повышается до известных пределов с увеличением ее температуры, что является следствием усиления процессов микробиологического разложения гумуса и других органических соединений.

1.3.5. Роль калия в жизни растений

Калий в растении находится в ионной форме и не входит в состав органических соединений клеток. Он содержится главным образом в цитоплазме и вакуолях, а в ядре отсутствует. Около 20 % калия удерживается в клетках растений в обменно-поглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы, до 1 % его необменно поглощается митохондриями, основная часть (до 80 %) находится в клеточном соке и легко извлекается водой. Поэтому калий вымывается из растений дождями. На свету прочность связи иона калия коллоидами цитоплазмы клетки усиливается, а в темноте ослабевает и происходит частичное выделение калия из растения через корни. Под влиянием калия усиливается накопление крахмала в клубнях картофеля, сахарозы в сахарной свекле и моносахаридов в ряде плодовых и овощных культур. Калий повышает холодоустойчивость и зимостойкость растений (в результате увеличения осмотического давления клеточного сока), устойчивость растений к грибковым и бактериальным болезням.

Калий усиливает синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновых веществ, ксиланов и др.), в результате чего утолщаются клеточные стенки соломины злаковых культур и повышается устойчивость хлебов к полеганию, у льна улучшается качество волокна.

Калий наряду с кальцием и магнием важен при аммонийном питании сельскохозяйственных культур. Недостаток калийного питания приводит к нарушению метаболизма в растении. Дефицит калия вызывает ослабление деятельности ферментов, нарушения в углеводном и белковом обменах растений, ведет к образованию щуплого зерна и снижению всхожести семян.

Внешние признаки калийного голодания растений проявляются в следующем: старые листья преждевременно желтеют, начиная с краев; в дальнейшем их края и верхушка приобретают бурую окраску (иногда с красными и ржавыми крапинками), а затем края листьев отмирают, разрушаются и становятся как бы обожженными, рванными на вид.

Калий поглощается растениями в виде катиона, оставаясь в клетке как заряженный ион. Наибольшее количество калия растения потребляют в период интенсивного прироста биологической массы. У зерновых и зерновых бобовых поступление калия заканчивается к цветению – началу молочной спелости, у льна – к фазе полного цветения, у картофеля, сахарной свеклы и капусты оно растянуто и практически происходит на протяжении всего вегетационного периода.

Содержание калия в растениях, почве и удобрениях принято выражать в пересчете на его оксид K_2O . Разные растения выносят различные количества K_2O в пересчете на 1 т основной продукции: зерновые – 25 – 27 кг, зерновые бобовые – 16 – 20 кг, картофель – 7 – 9 кг, свекла – 6 – 8 кг, овощные – 4 – 5 кг, клевер на сено – 20 – 24 кг. Чем меньше калия содержится в товарной (увозимой из хозяйства) части урожая и больше в нетоварной (оставшейся на поле), тем в меньшей степени калий исключается из биологического круговорота.

В почве калий находится главным образом в минеральной части:

- в составе кристаллической решетки первичных и вторичных минералов;
- в обменно- и необменно-поглощенном состоянии в коллоидных частицах;

- в составе пожнивно-корневых остатков и микроорганизмов;
- в виде минеральных солей почвенного раствора (карбонатов, нитратов, хлоридов).

Наилучшим источником питания растений считаются растворимые соли калия. Ближайшим резервом питания служат гидрослюды, вермикулиты, вторичные хлориты, монтмориллонит, необменные катионы. Потенциальным резервом – полевые шпаты, слюды, пироксены и первичные хлориты.

Валовой, или общий, калий объединяет в своем составе разные формы калийных соединений, которые классифицируются следующим образом:

- 1) водорастворимый калий (легко доступный растениям);
- 2) обменный калий (хорошо доступный растениям);
- 3) подвижный калий (сумма водорастворимого и обменного калия), извлекаемый из почвы солевой вытяжкой;
- 4) необменный гидролизуемый калий (труднообменный, или резервный), дополнительно извлекаемый из почвы кипящим раствором сильной кислоты (0,2 н или 10%-ный раствор соляной кислоты) и служащий ближайшим резервом для питания растений;
- 5) кислоторастворимый калий, объединяющий все четыре предыдущие формы и извлекаемый из почвы кипящим раствором сильной кислоты;
- б) необменный калий (разница между валовым и кислоторастворимым калием).

Обменный и необменный гидролизуемый калий определяется расчетным методом – по разнице между подвижным и водорастворимым калием. А необменный гидролизуемый – по разнице между кислоторастворимым и подвижным. Содержание в почве подвижного калия, который является основной формой питания растений, составляет лишь 0,5 – 2 % от валовых запасов.

Установлено, что между формами калия в почве существует динамическое (подвижное) равновесие и если, например, растение поглощает водорастворимый калий, то количество его в растении пополняется за счет обменного. Уменьшение обменного через некоторое время может возобновиться за счет необменного, фиксированного калия. Таким образом, по мере потребления растениями подвижного

калия запасы его будут пополняться за счет труднообменного, а также калия кристаллической решетки минералов. Этот процесс ускоряет переменное подсушивание и увлажнение почвы. В почвах содержится примерно 10 – 25 % водорастворимой формы калийных соединений от обменной, 5 – 25 % обменной от кислоторастворимой и 2 – 15 % кислоторастворимого калия от валового.

1.4. Минеральные удобрения

1.4.1. Свойства минеральных удобрений

Минеральные удобрения обладают рядом физических, химических, механических свойств: растворимость в воде, гигроскопичность, слеживаемость, предельная влагоемкость, рассеиваемость, гранулометрический состав, прочность гранул.

Влажность. Она не должна превышать значения, утвержденные ГОСТом и техническими условиями. Так, влажность для аммонийных азотных удобрений должна быть не более 0,2 – 0,6 %, аммонийно-нитратных и амидных – 0,2 – 0,3 %, нитратных – 1,0 – 2,0 %; содержание влаги в кальциевой селитре не должно быть более 14,0 %. Для водорастворимых фосфорных удобрений максимальная влажность составляет 3 – 5 %, исключение – суперфосфат простой порошковидный (его влажность должна быть не более 12 %). Для калийных удобрений (калмагнезия, калийно-магниевый концентрат гранулированный) влажность составляет от 1 – 4 до 5 – 6 %. Влажность известняковой муки – 1,5 – 4 %, сталеплавильных шлаков – 2 %. Отклонение этих показателей содержания влаги в минеральных удобрениях от стандарта влечет за собой значительное изменение физико-механических свойств удобрений, приводит к их порче.

Гигроскопичность. Для минеральных удобрений характерно поглощение влаги из воздуха. Их гигроскопичность оценивается по 10-балльной системе. К сильно гигроскопичным удобрениям относятся кальциевая селитра, ее балл до 9,5; аммиачная селитра гранулированная – 9,3. Менее гигроскопичны суперфосфат двойной гранулированный – 4,7; простой суперфосфат порошковидный – 5,9. Калийные удобрения имеют балл гигроскопичности 0,2 – 0 (сульфат калия), 3,2 – 4,4 – хлорид калия.

При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы теряют прочность, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость удобрений. Условия хранения, транспортировки и упаковки удобрений зависят от их гигроскопичности. Бестарная транспортировка и хранение допустимы только для слабо гигроскопичных удобрений (балл 3 и ниже). При балле гигроскопичности 6 – 4 требуются герметичные бумажные, пропитанные битумом, или полиэтиленовые мешки. Для сильно гигроскопичных удобрений (балл 7 – 10) при хранении необходима совершенно герметичная тара (полиэтиленовые мешки).

Влагоемкость. От влагоемкости зависит механический рассев удобрений. Предельная влагоемкость соответствует максимальной влажности удобрений, сохраняющих способность удовлетворительно рассеиваться туковыми сеялками.

Слеживаемость. Этот показатель зависит от влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, условий и продолжительности хранения. Слеживаемость удобрений определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по 7-балльной шкале.

К сильно слеживающимся удобрениям относятся карбамид (фракция 0,2 – 1 мм), простой порошковидный суперфосфат – VII степень; суперфосфат гранулированный аммонизированный, хлорид калия мелкокристаллический и сильвинит – VI степень. Многие удобрения не имеют конкретной степени и находятся в определенном диапазоне. Так, аммиачная селитра, сульфат аммония и карбамид (фракция 1 – 3 мм) имеют соответственно баллы II – V, II – III, I – II. Практически не слеживаются сульфат калия, калимагнезия, хлорид калия-электролит (I степень).

Рассеиваемость. Она определяется прежде всего гранулометрическим составом, сыпучестью и прочностью гранул. Качественная оценка рассеиваемости проводится по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость удобрений, тем выше балл. Равномерность распределения удобрений по поверхности почвы зависит от сыпучести удобрений и разбрасывающих устройств машин.

Гранулометрический состав. Это тонина помола (размер частиц), которая определяется при механическом ситовом анализе. Процентное содержание различных фракций оказывает влияние на слеживаемость и рассеиваемость удобрений.

Прочность гранул. Она зависит от влажности, размера и формы частиц, плотности упаковки удобрений. Сохранность гранулометрического состава при хранении, транспортировке и внесении удобрений в почву определяет физические свойства удобрений, их сыпучесть, слеживаемость. Прочность гранул характеризуется механической прочностью на раздавливание (кгс на 1 см^2) и истирание (в процентах), которые определяются на специальных приборах.

Угол естественного откоса (покоя). Он образуется горизонтальной плоскостью с плоскостью откоса кучи удобрения, размещенного насыпью. Этот показатель учитывается при строительстве складов (при хранении удобрений насыпью), проектировании бункеров, транспортных средств.

Плотность. Это объем единицы массы (объем одной тонны в метрах кубических) – учитывается при проектировании складских помещений и т. д. Насыпная плотность (в тоннах на метр кубический) зависит от гранулометрического состава удобрения, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления вышележащих слоев (табл. 1).

Минеральные удобрения подразделяются на простые (односторонние) и комплексные (комбинированные). Простые содержат только один макроэлемент. Подразделяются они на низкоконцентрированные и концентрированные. Комплексными называются удобрения, содержащие не менее двух элементов питания растений.

По способам производства они подразделяются на следующие основные виды:

1. Сложные удобрения. Получают их в едином технологическом цикле в результате химического взаимодействия исходных компонентов. Их главная особенность – наличие в каждой молекуле и грануле двух или трех питательных элементов.

2. Смешанные удобрения. Получают их в результате механического смешивания односторонних удобрений в гранулированном или порошкообразном виде.

3. Сложносмешанные удобрения. Получают «мокрым способом» – смешиванием порошкообразных односторонних удобрений с последующим или одновременным введением в смесь аммиаков, различных кислот и других азот- и фосфорсодержащих продуктов, а также газообразного аммиака, пара и воды.

4. Жидкие (ЖКУ) и суспендированные (СЖКУ) комплексные удобрения, для производства которых используют процессы взаимодействия разных жидких, газообразных и твердых продуктов и различных суспендирующих добавок.

5. Сложные удобрения с добавлением микроэлементов.

6. Твердые и жидкие сложные удобрения на основе полифосфорных кислот.

Таблица 1

Классификация минеральных удобрений

Удобрения	Содержание элементов питания, %	Масса 1 м ³ , т	Объем 1 т, м ³	Гигроскопичность	Действие удобрений на почву
<i>Азотные (N)</i>					
Аммиак безводный	82	0,62	1,59	–	Подкисляет
Аммиачная вода	21	0,93	1,10	–	»
Аммиачная селитра	34	0,80	1,20	Сильная	»
Мочевина (карбамид)	46	0,65	1,55	»	»
Сульфат аммония	21	0,85	1,20	Слабая	»
<i>Фосфорные (P₂O₅)</i>					
Суперфосфат порошковидный	19 – 21	1,20	0,80	Слабая	Не подкисляет
Суперфосфат гранулированный	19 – 21	1,10	0,90	Негигроскопичен	»
Суперфосфат двойной	42 – 46	1,00	1,00	Слабая	»
Преципитат	46	0,85	1,18	Негигроскопичен	Ослабляет кислотность почв
<i>Калийные (K₂O)</i>					
Калий хлористый	60 – 62	0,93	1,07	Слабая	Подкисляет
Соль калийная	30 – 40	0,90	1,00	»	»
Калий сернокислый	48 – 52	1,30	1,00	Негигроскопичен	»
Калимагнезия	28 – 30	1,00	1,00	»	»

Удобрения	Содержание элементов питания, %	Масса 1 м ³ , т	Объем 1 т, м ³	Гигроскопичность	Действие удобрений на почву
<i>Комплексные удобрения (N + P₂O₅ + K₂O)</i>					
Аммофос	9 – 11 + + 41 – 43 + 0	1,20	1,00	Слабая	Не подкисляет
Диаммофос	18 – 21 + + 50 – 54 + 0	»	»	»	»
Нитрофос	23 + 23 + 0	»	»	»	»
Нитроаммофос	23 + 23 + 0	»	»	»	»
Азофос	23 + 21 + 0	»	»	»	»
Нитрофоска	12 + 12 + 12	»	»	»	»
Нитроаммофоска	13 + 19 + 19	»	»	»	»
ЖКУ	10 + 34 + 0 6 + 18 + 6	»	»	»	»

1.4.2. Производство и применение азотных удобрений

Основные продукты промышленного производства минеральных азотных удобрений – синтетический аммиак и азотная кислота. Основано производство на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода.

Выпускают следующие группы азотных удобрений:

- 1) нитратные: натриевая селитра, кальциевая селитра;
- 2) аммонийные и аммиачные: сульфат аммония, сульфат аммония-натрия, хлористый аммоний, карбонат аммония, бикарбонат аммония, безводный аммиак, аммиачная вода;
- 3) аммиачно-нитратные: аммиачная селитра;
- 4) амидные: мочевины, цианамид кальция.

Нитратные удобрения

Долгое время единственным представителем этой группы была чилийская селитра, которую добывали из естественных залежей. С открытием способа связывания атмосферного азота появилась синтетическая селитра. В настоящее время азотную кислоту для нитратных удобрений получают окислением синтетического аммиака. Рассмотрим свойства отдельных представителей этой группы удобрений.

Натриевая селитра (нитрат натрия, азотнокислый натрий) NaNO₃. Содержит 15 – 16 % азота и 26 % натрия. Получают ее на заводах при производстве азотной кислоты из аммиака путем щелочной абсорбции окислов азота. Не поглощенные водой в окислительных

башнях нитрозные газы NO и NO₂ пропускают через поглотительные башни, орошаемые раствором соды или NaOH. В результате химического взаимодействия образуется смесь нитрата и нитрита натрия



Для перевода нитрита в нитрат смесь подкисляют слабой азотной кислотой $3\text{NaNO}_2 + 2\text{HNO}_3 = 3\text{NaNO}_3 + 2\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$. NO возвращают в окислительные башни для окисления в NO₂. Подкисленный азотной кислотой раствор нейтрализуют, затем выпаривают и центрифугированием отделяют осадок NaNO₃ от маточного раствора. Получается мелкокристаллическая соль нитрата натрия белого или сероватого цвета. Она хорошо растворяется в воде, обладает заметной гигроскопичностью (при повышенной влажности перекристаллизовывается в более крупные кристаллы). В сухом состоянии при правильном хранении сохраняет рассыпчатость и удобна для внесения в почву.

Кальциевая селитра (нитрат кальция, азотнокислый кальций) Ca(NO₃)₂. Содержит 13 – 15 % азота. Получают нейтрализацией 40 – 48%-ной азотной кислоты мелом или известью



Азотную кислоту для производства кальциевой селитры получают окислением аммиака. Кальциевая селитра очень гигроскопична. При обычной температуре легко присоединяет влагу и переходит в гидратную форму. Наиболее стабильна при обычной температуре соль Ca(NO₃)₂ · 4H₂O (14,8 % азота).

Рассмотрим, как происходит взаимодействие натриевой и кальциевой селитр с почвой. Быстро растворяясь в почвенном растворе, селитры вступают в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом: $(\text{ППК})_{\text{Ca}}^{\text{Ca}} + 2\text{NaNO}_3 \rightarrow (\text{ППК})_{\text{Ca}}^{\text{Na}, \text{Na}} + \text{Ca(NO}_3)_2$; $(\text{ППК})_{\text{H}}^{\text{H}} + \text{Ca(NO}_3)_2 \rightarrow (\text{ППК})_{\text{Ca}}^{\text{Ca}} + 2\text{HNO}_3$.

Катионы Na⁺ и Ca²⁺ поглощаются почвой, а анион NO₃⁻ образует с вытесненным из почвенного поглощающего комплекса катионом Ca²⁺ растворимую соль Ca(NO₃)₂ или с ионом H⁺ – азотную кислоту.

Натриевая и кальциевая селитры – физиологически щелочные удобрения, поэтому систематическое внесение селитр заметно снижает кислотность почв. Селитры можно применять на разных почвах под все сельскохозяйственные культуры в качестве предпосевного удобрения, рядкового и в подкормки под озимые и пропашные. Эти удобрения менее эффективны, чем аммиачные при внесении в орошаемых районах под рис, хлопчатник и другие культуры.

1.4.3. Аммонийные и аммиачные удобрения

Эта группа азотных удобрений содержит твердые и жидкие формы. Рассмотрим твердые аммиачные удобрения.

Сульфат аммония (сернокислый аммоний) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Содержит 20,5 % азота. Получают его нейтрализацией серной кислоты аммиаком, выделенным из отходящих газов при коксовании углей (коксохимический сульфат аммония), или поглощением серной кислотой газообразного синтетического аммиака (синтетический сульфат аммония) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Образующийся в насыщенном растворе осадок $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ отделяют центрифугированием и высушивают. Это удобрение легко растворяется в воде. В сухом состоянии обладает хорошими физическими свойствами: мало слеживается при хранении, хорошо рассеивается туковой сеялкой. Гигроскопичность удобрения невелика. Оно не расплывается на воздухе и сохраняет рассыпчатость. По внешнему виду сульфат аммония – кристаллическая соль разной окраски. Внесенный в почву сульфат аммония быстро растворяется и немедленно вступает в обменные реакции с катионами твердой фазы почвы. Значительная часть катионов NH_4^+ из растворенного в почве удобрения входит в почвенный поглощающий комплекс, а в раствор переходит эквивалентное количество других катионов. Поглощенный аммоний хорошо усваивается растениями. В то же время, находясь в поглощенном состоянии, ион аммония становится слабоподвижным. Это может привести к локализации аммиачного азота в очагах его внесения и отрицательно сказаться на проростках молодых растений (привести к ожогам).

Сульфат аммония-натрия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$. Содержит не менее 16 % азота и до 2,5 % органических примесей. Это удобрение является отходом производства капролактама. По внешнему виду это кристаллическая соль желтоватого цвета. Содержание Na_2SO_4 – 20 – 25 %, Na_2O – около 9 %.

Хлористый аммоний NH_4Cl . Содержит 24 – 25 % азота и представляет собой побочный продукт при производстве соды: $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} = \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$. Хлористый аммоний – вещество, растворимое в воде, обладает хорошими физическими свойствами, малогигроскопично, при хранении не слеживается. Обладает высокой физиологической кислотностью и содержит много хлора (66 %), который может снизить качество урожая некоторых культур.

Карбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Получается насыщением аммиачной воды углекислым газом с последующей отгонкой карбоната аммония при температуре 70 – 80 °С или в результате взаимодействия газообразного аммиака и двуокиси углерода в присутствии паров воды. Карбонат аммония очень не стоек, на открытом воздухе разлагается с выделением аммиака и переходит в бикарбонат аммония. Технический продукт содержит 21 – 24 % азота и представляет собой смесь карбоната аммония, бикарбоната аммония и карбамида аммония.

Бикарбонат аммония NH_4HCO_3 . Его получают на основе адсорбции газообразного аммиака и углекислого газа раствором карбоната аммония: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{NH}_4\text{HCO}_3$.

В осадок выпадает белый кристаллический бикарбонат аммония. Остающийся в растворе двууглекислый аммоний насыщают газообразным аммиаком: $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Образующийся в растворе карбонат аммония вновь используют для производства бикарбоната аммония. Удобрение содержит около 17 % азота. По действию на растения приближается к аммиачной селитре.

Наряду с твердыми аммонийными и аммиачными удобрениями применяются жидкие азотные удобрения. Рассмотрим их свойства.

Безводный аммиак NH_3 . Это самое концентрированное безбалластное удобрение, содержит 82,3 % азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду это бесцветная подвижная жидкость, плотность 0,61 при 20 °С, температура кипения 34 °С. При более высокой температуре быстро превращается в газ и объем его увеличивается. При хранении в открытых сосудах быстро испаряется.

Внесенный в почву безводный аммиак превращается из жидкости в газ, который адсорбируется коллоидной фракцией и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний дает различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой фазой почвы. Наряду с физико-химическими реакциями аммиак подвергается нитрификации. Скорость и степень поглощения аммиака почвой зависит от содержания в ней гумуса, ее гранулометрического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки в нее удобрений. На тяжелых, богатых органическим веществом, хорошо обработанных и нормально увлажненных почвах

аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных гумусом почвах. В песчаных и супесчаных почвах образование аммонийных солей из аммиака и адсорбция иона аммония происходят медленнее, чем в тяжелых почвах. В связи с этим на легких почвах удобрение продолжительное время сохраняется в виде NH_3 и способно улетучиваться.

Аммиачная вода. Это раствор синтетического или коксохимического аммиака в воде. Выпускается двух сортов: первый сорт содержит 20,5 % азота, второй – 16,4 %. Коксохимический водный аммиак, кроме того, содержит сероводород и незначительные количества фенолов, роданистых, цианистых и некоторых других соединений. Аммиачная вода характеризуется высокой упругостью паров аммиака, замерзает только при очень низкой температуре ($-56\text{ }^\circ\text{C}$). В этом удобрении азот находится в форме свободного аммиака NH_3 и аммония NH_4OH . При внесении аммиачной воды в почву аммиак адсорбируется коллоидами и поэтому слабо передвигается в ней. С течением времени аммиачный азот нитрифицируется и приобретает большую подвижность, мигрируя с почвенным раствором.

Все жидкие азотные удобрения вносятся специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10 – 12 см на тяжелых и 14 – 18 см на легких почвах.

1.4.4. Аммиачно-нитратные удобрения

Наиболее распространенное азотное удобрение, содержащее азот в аммонийной и нитратной формах, – это аммиачная селитра. Рассмотрим ее свойства.

Аммиачная селитра (нитрат аммония, азотнокислый аммоний) NH_4NO_3 содержит 34,6 % нитратного и аммиачного азота. Получается нейтрализацией 56 – 60%-ной азотной кислоты газообразным аммиаком $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3$.

Для выделения аммиачной селитры раствор упаривают до содержания 95 – 98 % NH_4NO_3 , затем подвергают перекристаллизации и высушиванию. Примесью служат добавки, вносимые в азотнокислый аммоний для улучшения его физических свойств (тонко размолотая фосфоритная или костяная мука, гипс, каолинит и др.). Данное удобрение очень гигроскопично, на воздухе сильно отсыревает и слеживается.

Взаимодействие аммиачной селитры с почвой происходит следующим образом. После внесения в почву аммиачная селитра быстро и полностью растворяется почвенной влагой и вступает в реакцию с почвенным поглощающим комплексом. В результате обменного поглощения аммоний адсорбируется коллоидами почвы, а анион NO_3^- образует в растворе соли с кальцием $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, магнием $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и другими ионами.

В почвах, насыщенных основаниями, подкисления почвенного раствора не происходит даже при систематическом внесении высоких доз удобрений.

При недостатке в почве кальция внесение аммиачной селитры может вызвать некоторое подкисление почвенного раствора, а в случае неравномерной заделки удобрений – создавать очаги с повышенной кислотностью. Местное подкисление почвенного раствора носит временный характер. С поглощением нитратного азота растениями оно исчезает.

Наличие в аммиачной селитре половины азота в легкоподвижной нитратной форме и половины в менее подвижной аммиачной форме выгодно отличает ее от других азотных удобрений.

Аммиачную селитру применяют в качестве допосевного (основного) удобрения, вносят в рядки или в лунки при посеве и в подкормку в период вегетации.

1.4.5. Амидные удобрения

Это группа удобрений, содержащих азот в амидной форме.

Мочевина (карбамид) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Синтетическая мочевина содержит 46 % азота. Это самое концентрированное из твердых азотных удобрений. Исходные продукты для производства синтетической мочевины – газообразный или жидкий аммиак и диоксид углерода (углекислый газ). Получается она в результате взаимодействия диоксида углерода с аммиаком при высоких давлениях и температуре $\text{CO}_2 + 2\text{NH}_3 = \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$.

По внешнему виду мочевина – белый кристаллический продукт, хорошо растворимый в воде. Гигроскопичность ее при температуре до 20 °С сравнительно небольшая (близка к гигроскопичности сульфата аммония), но с повышением температуры заметно увеличивается. При хранении кристаллическая мочевина может слеживаться и

рассеиваемость ее ухудшается. Для уменьшения слеживаемости мочевины гранулируют, а гранулы покрывают небольшим количеством жировой добавки. В процессе грануляции под влиянием температуры в мочеvine образуется биурет



При высоком содержании (более 3 %) биурет становится токсичным для растений, угнетает их. В почве мочевины полностью растворяется почвенной влагой и под действием фермента уреазы, выделяемого уребактериями, быстро аммонифицируется, превращаясь в углекислый аммоний: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

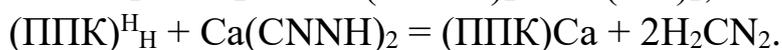
При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах превращение мочевины в углекислый аммоний происходит за 2 – 3 дня, процесс аммонификации идет слабее на малоплодородных песчаных и болотных почвах. Углекислый аммоний – соединение непрочное, на воздухе разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$.

Поэтому при поверхностном внесении мочевины без заделки в почву и при отсутствии осадков могут быть частичные потери азота в виде аммиака. В почве углекислый аммоний подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония NH_4OH : $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_4\text{OH}$.

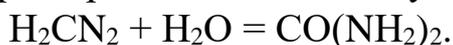
Образующийся при внесении мочевины в почву аммоний поглощается ее коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями. Мочевина применяется в качестве допосевного удобрения на всех почвах под различные сельскохозяйственные культуры. Ее можно применять и для подкормки пропашных и овощных культур с немедленной заделкой в почву. При несвоевременной заделке возможны потери азота вследствие улетучивания аммиака, образующегося при разложении углекислого аммония, в который превращается мочевины. Это удобрение можно использовать и для некорневой подкормки растений, но в этом случае целесообразно применять кристаллическую мочевины с меньшим содержанием биурета (0,2 – 0,3 %).

Цианамид кальция CaCN_2 . Содержит 20 – 22 % азота. В состав технического продукта входят 58 – 60 % CaCN_2 , 20 – 28 % CaO , 9 – 12 % угля и незначительные количества кремниевой кислоты, оксида железа, алюминия и карбида кальция. По внешнему виду цианамид кальция – легкий тонкий черный или темно-серый порошок. При погрузках и рассеивании сильно пылит.

В почве цианамид кальция подвергается гидролизу и взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом:



Образующийся цианамид H_2CN_2 ядовит для растений, но он быстро переходит в мочевины



Мочевина под влиянием фермента уреазы переходит в углекислый аммоний, который в результате нитрификации дает азотную кислоту.

Цианамид кальция – щелочное удобрение, так как содержит значительное количество примеси СаО, которая подщелачивает почву.

1.4.6. Аммиакаты

Аммиакаты представляют собой растворы аммиачной селитры, мочевины или других азотных удобрений в водном аммиаке. Получают эти растворы в заводских условиях путем введения в 20 – 25%-ную аммиачную воду 70 – 80 % горячего раствора аммиачной селитры, мочевины или смеси удобрений. Аммиакаты – жидкости светло-желтого цвета. Азот в ней представлен на 20 – 40 % аммиаком и на 60 – 80 % – азотом аммиачной селитры или мочевины.

Одно из основных условий эффективного применения аммиако-тов – внесение их в почву на достаточную глубину, чтобы не допустить потерь азота вследствие улетучивания аммиака. На суглинистых почвах аммиакаты вносят на глубину 10 – 14 см, а на супесчаных – на 14 – 18 см.

1.4.7. Применение азотных удобрений под отдельные культуры

Азотные удобрения вносят под все сельскохозяйственные культуры. Особое положение по отношению к этим удобрениям занимают бобовые растения. Они используют молекулярный азот воздуха, фиксируемый клубеньковыми бактериями. Однако в начале роста, когда клубеньковые бактерии еще недостаточно развились, для бобовых требуется источник усвояемого азота в почве. Поэтому бобовые культуры в этот период тоже нуждаются в азотных удобрениях (в дозах 30 – 40 кг/га) и хорошо на них отзываются.

Зерновые культуры хорошо отзываются на внесение азотных удобрений, которые улучшают развитие вегетативных и репродук-

тивных органов, повышают энергию кущения, увеличивают урожай зерна и содержание белка в нем. Зерновые культуры поглощают азот преимущественно в ранние периоды жизни. Так, озимая пшеница в фазе кущения усваивает половину азота, а ко времени колошения – 2/3 всего необходимого ей количества этого элемента питания. Яровая пшеница по сравнению с озимой имеет более короткий период питания. Наиболее интенсивно она потребляет азот между фазами кущения и молочной спелости. Ячмень имеет еще более короткий период питания, чем яровая пшеница. Под озимые культуры, идущие по занятым парам, для создания благоприятных условий роста в осенний период необходимо внести азотные удобрения в норме 30 – 60 кг/га до посева (под вспашку или предпосевную культивацию). При посеве озимых после клевера и по хорошо обработанным чистым парам внесение азотных удобрений до посева обычно не требуется. Исключительно большое значение для озимых имеет ранневесенняя подкормка из азотных удобрений (20 – 30 кг/га).

Кукуруза, просо, гречиха, овес, рис характеризуются растянутым периодом питания. Они поглощают азот и другие питательные вещества и в поздние фазы роста и развития: кукуруза – до фазы восковой спелости, просо – до фазы цветения и созревания. Под кукурузу в зависимости от плодородия почвы и предшественника вносят от 60 до 90 кг/га азота, причем средние нормы применяют до посева, а при внесении высоких норм (90 кг/га и более) большую часть вносят до посева и меньшую дозу (20 – 25 кг/га) дают в подкормку при первой междурядной обработке почвы. Для риса оптимальная норма азота 120 – 150 кг/га, причем половину нормы вносят перед посевом под весеннюю перепахку или под культивацию и половину – в одну-две подкормки. Лучшие формы азотных удобрений – сульфат аммония и мочевины. Хлопчатник требует гораздо больше азота, чем зерновые культуры. Больше всего азота потребляется во второй половине вегетации – в период с конца фазы бутонизации до массового раскрытия коробочек. В среднем вносится 150 – 200 кг/га аммиачной селитры, сульфата аммония и мочевины.

Лен-долгунец имеет критический период в азотном питании – период от фазы «елочки» до фазы бутонизации. Слабая обеспеченность растений азотом в это время вызывает резкое снижение урожая

и его качества. При возделывании льна по пласту многолетних трав средние нормы азота – (40 – 60 кг/га) вносят перед посевом; при норме 70 – 90 кг/га часть ее (20 – 25 кг/га) можно использовать в подкормку льна в фазе «елочки». При размещении льна по пласту бобовых трав он хорошо обеспечивается азотом, поэтому азотные удобрения вносят перед посевом в небольшом количестве (20 – 30 кг/га азота). Применяют в основном аммонийную селитру и мочевину.

Сахарная свекла в период прорастания семян требует умеренного питания азотом. В следующий период, когда растения усиленно развивают корни и ботву, потребность в азоте сильно возрастает. Основное удобрение вносят осенью под глубокую пахоту, рядковое в небольших дозах (8 – 10 кг/га) – одновременно с посевом семян вместе с фосфорными удобрениями. В рядки лучше вносить натриевую селитру. При введении 120 – 150 кг/га азота небольшую часть (20 – 25 кг/га азота) можно внести в подкормку и ранние фазы развития этой культуры.

Картофель интенсивно поглощает питательные вещества после начала цветения. В этот период растения имеют вполне развитую ботву, у них начинается усиленный рост клубней. Хорошими формами азотного удобрения под картофель являются аммиачная селитра и сульфат аммония в дозе 60 – 90 кг/га азота. Азотные удобрения вносят под картофель до посева. Часть нормы (15 – 20 кг/га азота) используют также местно при посадке в лунки. При избытке азота после цветения период вегетации удлиняется, усиливается рост ботвы, клубни израстаются и образуются столоны второго и третьего порядков, снижается качество урожая.

Овощные культуры предъявляют высокие требования к азотному питанию в течение всей вегетации. Наиболее интенсивный прирост урожая капусты наблюдается в июле – августе (84 % общего урожая); в это время капуста поглощает много азота. Морковь больше всего усваивает азота в конце августа – сентябре. Поступление азота в огурцы возрастает постепенно, достигая максимума в период роста завязей. В дальнейшем поступление азота резко уменьшается. Нормы азотных удобрений для овощных 60 – 120 кг/га азота при условии внесения 20 – 30 т навоза.

Плодовые и ягодные культуры наиболее отзывчивы на азотные удобрения. Их следует заделывать глубоко в почву, по возможности близко к основной массе мочковатых корней. Это достигается внесе-

нием удобрений в скважины и канавки или введением специальным шприцем на глубину 50 см и более. В период полного плодоношения плодовых (яблоня, груша, вишня и др.) обычная норма азота при ежегодном внесении составляет 60 – 90 кг/га; для южных культур (слива, персик, фундук, маслина, хурма и др.) – 60 – 90 кг/га, иногда до 120 кг/га. Под ягодные растения (земляника, смородина, крыжовник и др.) в зависимости от плодородия почвы норма азота 45 – 60 кг/га.

1.4.8. Фосфорные удобрения

Из множества минералов, имеющих в своем составе фосфор, только изверженный апатит и осадочные фосфориты служат сырьем для производства фосфорных удобрений.

Фосфориты образовались при минерализации скелетов животных, населявших Землю в отдаленные геологические эпохи, а также осаждением фосфорной кислоты кальцием из воды. Апатит – кристаллическое вещество, а фосфориты встречаются как аморфные, так и кристаллические. Аморфные легче поддаются разложению, поэтому они представляют интерес при непосредственном использовании на удобрение. Апатиты и фосфориты являются трехзамещенными кальциевыми солями ортофосфорной кислоты, которые сопровождаются фтористым кальцием, другими соединениями этого катиона и различными примесями. Удаление фтора разрушает строение кристаллической решетки апатита.

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 его хлоридом, карбонатом, гидроксидом. Соответственно различают фтор-apatит, хлор-apatит, карбонат-apatит, гидроксил-apatит. Хибинский апатит залегает в виде апатитонефелиновой породы. Нефелин – это алюмосиликат следующего состава: $(\text{K}, \text{Na})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + n\text{SiO}_2$. Помимо фосфатных минералов, фосфориты содержат много примесей, среди которых полоторные окислы, песок, глина.

Фосфориты бывают желваковые – в виде окатанных камней и пластовые – в виде слитной массы с мощностью пласта до 7 м (это Каратауский фосфорит с содержанием P_2O_5 29 – 36 %, полоторных окислов до 2 – 2,5 % и небольшим количеством магния). Больше фосфора (23 – 27 %) в глинистых фосфоритах (месторождения Вятско-Камское, Кролевецкое, Егорьевское) по сравнению с песчаными (До-

нецкое, Моршанское месторождения). Глауконитовые фосфориты $K_2O \cdot 4R_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot nH_2O$ по содержанию фосфора занимают среднее положение между глинистыми и песчаными.

Государственным институтом горно-химического сырья подготовлены предложения по конкретным объектам освоения местных месторождений во всех областях Нечерноземья, на юге Краснодарского и Хабаровского краев. При создании этих месторождений можно ежегодно получать дополнительно 4 млн т фосфоритной муки, удобрять ею ежегодно площадь в 3 – 5 млн га. Первые малые предприятия по производству местной фосфоритной муки и фосфомелиорантов уже созданы за счет фосфатов из Сирии, причем в счет погашения ее кредитов.

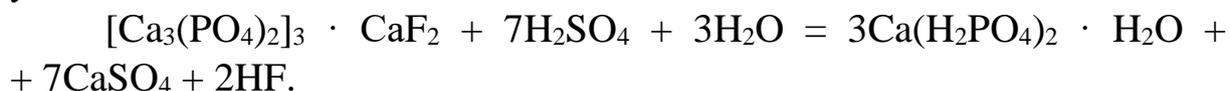
Все виды фосфорных удобрений, являющиеся кальциевыми солями фосфорной кислоты, делятся на три группы:

- 1) растворимые в воде однозамещенные;
- 2) полурастворимые двухзамещенные – не растворимые в воде, но растворяющиеся в слабых кислотах и поэтому доступные растениям;
- 3) трехзамещенные – не растворимые в воде и плохо растворимые в слабых кислотах, фосфаты которых неусвояемы для подавляющего большинства культур.

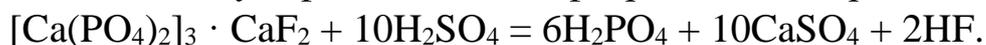
Рассмотрим состав названных групп.

1.4.9. Однозамещенные фосфаты

Главным представителем этой группы можно назвать простой суперфосфат. При действии серной кислотой (57%-ной) на тонко измельченное фосфатное сырье получают смесь монофосфата кальция и безводного сульфата кальция, фтористый водород улетучивается и улавливается



На 1 т сырья расходуется около 1 т кислоты и получают до 2 т готовой продукции. Содержание фосфора в удобрении оказывается вдвое ниже, чем в исходном материале. В местах, где из-за совершенства перемешивания образуется некоторый избыток серной кислоты, трехкальциевый фосфат разлагается полностью с образованием фосфорной кислоты, сульфата кальция и фтористого водорода

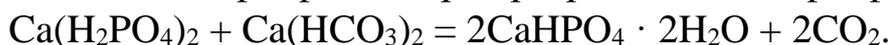


Для устранения кислотности суперфосфат нейтрализуют, добавляя аммиак, известь или фосфорит. В тех местах, где из-за неполного перемешивания получается недостаток серной кислоты, образуется двухзамещенный фосфат кальция (преципитат), который доступен растениям:

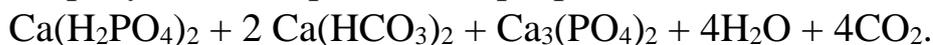


Таким образом, в состав суперфосфата входят следующие усвояемые растениями соединения: монофосфат кальция, дифосфат кальция и свободная фосфорная кислота. Монофосфат кальция и фосфорная кислота в сумме дают 75 – 90 % P_2O_5 . Дифосфат занимает не более 10 – 25 % усвояемых фосфатов.

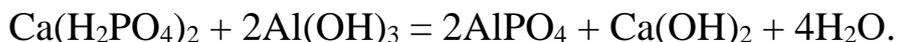
Порошковидный суперфосфат. Вещество темно-серого (из фосфорита) или светло-серого (из апатита) цвета, с характерным запахом фосфорной кислоты. При внесении в нейтральные насыщенные основаниями почвы монофосфат быстро превращается в дифосфат кальция



В присутствии карбонатов превращение частично идет дальше



Химическое поглощение фосфорной кислоты суперфосфата в нейтральных почвах с образованием двух- и трехзамещенных фосфатов кальция обуславливает малую подвижность удобрения, внесенного в почву. В то же время свежесаживаемые трехзамещенные фосфаты кальция характеризуются значительной растворимостью в слабых кислотах и доступностью растениям. В кислых почвах, богатых полуторными окислами, могут образовываться слаборастворимые и поэтому трудноусвояемые растениями фосфаты железа и алюминия



Во всех почвах часть анионов фосфорной кислоты адсорбируется положительно заряженными коллоидными частицами (в обмен на другие анионы, преимущественно HCO_3^-) и в этом состоянии остается доступной растениям.

Микроорганизмы почвы также связывают некоторое количество фосфатов, переводя их в состав плазмы клеток.

Для уменьшения химического поглощения фосфат-ионов из порошковидного суперфосфата на кислых почвах нежелательно смешивать его с большой массой почвы. Снижение химического связывания

фосфора суперфосфата за счет уменьшения площади его соприкосновения с почвой достигается при гранулировании удобрений.

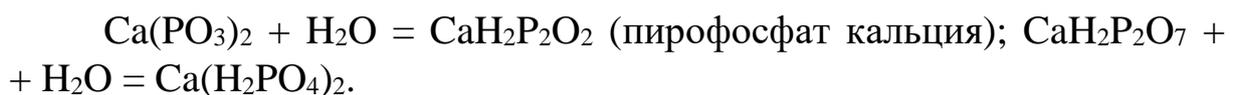
Гранулированный суперфосфат. Для производства гранулированного суперфосфата достаточно готовый порошковидный продукт несколько увлажнить и высушить во вращающемся барабане. Образуются гранулы разной величины, диаметр их от 1 до 4 мм. Затем гранулы направляют на повторное гранулирование с новой порцией порошковидного продукта. При локальном внесении получается такой же эффект, как при внесении в три раза большей нормы порошковидного суперфосфата. В гранулированном суперфосфате содержится до 1 – 4 % влаги, а его усвояемость достигает 22 % (порошковидного – 14 – 19 %).

Концентрированный суперфосфат (двойной и обогащенный). Технология его производства включает две фазы. Вначале обрабатывают фосфорит кислотой для извлечения свободной фосфорной кислоты. Затем, отделив фильтрованием фосфорную кислоту от гипса, обрабатывают ею новую порцию высокопроцентного фосфатного сырья. Получается концентрированный суперфосфат, т. е. монофосфат кальция с небольшим количеством примесей, содержащихся в сырье:



Суперфос. Образуется суперфос при неполном разложении фосфоритов фосфорной кислотой. Таким же способом получают и двойной суперфосфат. Но для получения суперфоса фосфорной кислоты берется меньше, поэтому разложение получается частичным. По своему действию на урожай это удобрение – лучшее среди фосфорных удобрений. Общее содержание P_2O_5 до 38 %, усвояемое – до 19 %.

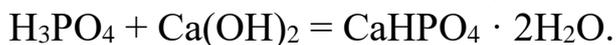
Метафосфат кальция. Это простое удобрение, поскольку оно содержит лишь одно дефицитное для растений питательное вещество – фосфор. В воде не растворим, но растворяется в нейтральном лимоннокислом аммонии, а это значит, что удобрение является источником доступного растениям фосфора. Реакцию гидролиза метафосфата кальция в почве схематично можно показать так:



То есть в конечном счете получается однозамещенный фосфат кальция (как в суперфосфате), растворимый в виде соли. Метафосфат кальция содержит около 64 % P_2O_5 и является концентрированным фосфорным удобрением.

1.4.10. Двухзамещенные фосфаты

Преципитат. Это основное удобрение и такое же эффективное, как суперфосфат. По внешнему виду – белый или светло-серый порошок. На кислых почвах даже превосходит суперфосфат по действию на урожай. Получают преципитат нейтрализацией фосфорной кислоты известковым молоком (суспензия гидрата окиси кальция)



Содержание P_2O_5 в преципитате в зависимости от качества исходного сырья от 25 – 27 до 30 – 35 %. Это удобрение растворяется в лимоннокислом аммонии и доступно растениям. Вносят в почву в тех же нормах, что и суперфосфат.

Обесфторенный фосфат $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 \cdot \text{CaSiO}_3$. Сущность процесса его получения сводится к прокаливанию при 1400 – 1450 °С апатита (с добавлением 2 – 3 % кремнезема) или каратауского фосфорита (с прибавлением извести) в присутствии водяных паров. В этих условиях разрушается кристаллическая решетка апатита и фтор удаляется на 90 %. Получаются различного состава фосфаты, растворимые в слабых кислотах. При переработке апатита удобрение содержит 30 – 32 % P_2O_5 , а при прокаливании фосфорита – 20 – 22 %.

Томасшлак $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4 + \text{CaO}$. Это побочный продукт при переработке железных руд, богатых фосфором, по способу Томаса. Сущность процесса заключается в том, что в конверторы, где плавится металл, добавляют обожженный известняк, с которым образовавшийся при плавке фосфорный ангидрид вступает в реакцию с образованием тетракальциевого фосфата $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ (или $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$). Шлак при этом всплывает. После отделения и охлаждения его размалывают. В полученном продукте находятся тетракальциевый фосфат, трудно растворимые фосфаты, не имеющие значения для питания растений, кремнекислый кальций, соединения алюминия, железа, ванадия, магния, марганца, молибдена. Содержание доступного растениям P_2O_5 колеблется от 7 до 20 %. Используется только как основное удобрение. Лучше действует на кислых почвах, так как имеет щелочную реакцию.

Мартеновский фосфатшлак. При получении стали из чугуна в мартеновском производстве добавляют известь для связывания фосфора. Отходом является шлак, более бедный фосфором, чем томасшлак. Это и есть фосфатшлак. Он содержит двойную соль тетра-

фосфата кальция и силиката кальция, железо, марганец, магний и другие вещества. Содержание P_2O_5 от 8 до 12 %. Почти вся она растворима в лимонной кислоте. Реакция удобрений сильно щелочная. Вносят только как основное удобрение на кислых и слабокислых почвах.

1.4.11. Трехзамещенные фосфаты

Фосфоритная мука. Получают фосфоритную муку размолом фосфорита до состояния тонкой муки. Фосфор содержится в виде гидроксил-апатита, карбонат-апатита, фтор-апатита и находится в форме $Ca(PO_4)_2$. Эти соединения не растворимы в воде, слабых кислотах и слабо доступны для большинства культур. Почва начинает разлагать фосфорит при потенциальной кислотности не ниже 2,5 м-экв./100 г почвы. Чем эта величина выше, тем сильнее действие фосфоритной муки, если содержание подвижных фосфатов в почве недостаточно для питания культур. При использовании фосфоритной муки важно знать общую величину поглотительной способности почвы ($T = S + H$ м-экв./100 г почвы), знание которой позволяет судить, насколько заметно проявляется ненасыщенность почвы основаниями, т. е. как велика доля водорода от способности данной почвы к обменному поглощению катионов. Необходимо учитывать и степень насыщенности почв основаниями V

$$V = (S / T) 100 \%, \quad \text{или} \quad V = [S / (S + H)] 100 \%,$$

где S – сумма поглощенных оснований, % ($Ca + Mg + K + Na$ и др.);
 T – емкость поглощения почвы, м-экв./100 г.

Чем ниже величина V (ниже 70 %), тем выше эффективность действия фосфоритной муки. Нужно помнить, что перед внесением в почву фосфоритной муки не следует известковать почву, поскольку известь нейтрализует кислотность почвенного раствора и наиболее подвижную часть потенциальной кислотности (обменную) твердой фазы почвы. Это приводит к ограничению и затягиванию срока взаимодействия фосфорита с почвой. Разрыв между внесением фосфоритной муки и известкового материала должен составлять 2 – 3 года.

Содержание P_2O_5 в высшем сорте фосфоритной муки 25 %, в первом – 22 %, во втором – 19 %. Влаги не более 3 %.

1.4.12. Сроки и способы внесения фосфорных удобрений

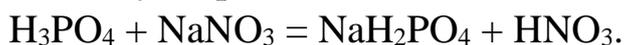
Припосевное внесение суперфосфата. Роль припосевного удобрения, вносимого в малой дозе и вблизи от семян, существенна, так как усиливается первоначальный рост всходов и заметно повышается урожай. При рядковом внесении гранулированного суперфосфата в смеси с семенами урожай зерновых повышается, в то же время растения становятся более стойкими к неблагоприятным условиям погоды. Доза P_2O_5 для припосевного удобрения зависит от особенностей культур и составляет 7,5 – 20 кг/га. Все растения отзывчивы на этот прием использования суперфосфата, но некоторые из них сильно угнетаются при непосредственном контакте семян с удобрениями (кукуруза, подсолнечник, хлопчатник). Поэтому прослойка почвы для них необходима, и дозы фосфора могут быть минимальными (7,5 – 10 кг/га).

Основное внесение фосфорных удобрений. Цель основного удобрения – устранить дефицит фосфора при питании растений на протяжении большей части вегетационного периода. Для правильного внесения основного удобрения нужно учитывать срок внесения, глубину заделки, форму (растворимость), норму, сочетание с другими питательными веществами. Для почв с реакцией, близкой к нейтральной, срок внесения растворимых солей фосфорной кислоты не имеет существенного значения, так как потерь их от выщелачивания не наблюдается, а химическое связывание ограничивается образованием дифосфата кальция, который доступен растениям. В кислых почвах наряду с образованием двухзамещенного фосфата кальция появляются также фосфаты алюминия и железа, доступность которых растениям очень низка. Учитывая это, следует избегать длительного взаимодействия суперфосфата с кислой почвой в отсутствие растений.

Глубина вспашки почвы под конкретную культуру определяет и глубину заделки основного фосфорного удобрения. Поверхностное распределение суперфосфата на пастбище даже в высокой дозе (450 кг/га P_2O_5) не приводит к проникновению фосфора глубже, чем на 2,5 см, а значит, коэффициент использования фосфора невелик. Установлено, что только при заделке на глубину 10 см и более удобрение имеет решающее значение в фосфорном питании растений. В зоне недостаточного увлажнения в период засухи корневые волоски быстро погибают в сухой почве. Мелко заделанное удобрение не усваивается корнями.

Нормы фосфора зависят от плодородия почвы, запланированного урожая, сопутствующих удобрений и колеблются от 30 – 45 до 90 – 120 кг/га P_2O_5 . Высокие нормы применяют под плодовые и технические культуры, средние – под кукурузу, картофель, овощные, кормовые, минимальные – под зерновые и зернобобовые. Одним из приемов, повышающих эффективность использования растениями фосфора, является внесение его в запас из расчета на 3 – 4 года.

Нельзя смешивать щелочные формы фосфорных удобрений (томасшлак, фосфатшлак) с аммиачными солями, чтобы избежать потерь аммиака. Сухой суперфосфат можно незадолго до внесения смешивать с сухими аммиачными и нитратными азотными удобрениями. Заблаговременное смешивание с аммиачной селитрой может вызвать отсыревание смеси, а с сульфатом аммония – схватывание ее вновь образующимся гипсом. При смешивании кислого суперфосфата с нитратными удобрениями возможна потеря летучей азотной кислоты



Кислотность суперфосфата вредна для растений, поэтому ее нейтрализуют добавлением при механическом перемешивании до 15 % фосфоритной муки, или 10 % доломитовой муки, или столько же углекислой извести. Едкую известь прибавлять нельзя, чтобы не вызвать перехода фосфорной кислоты в соединения, плохо усваиваемые растениями.

Подкормка. Этот прием имеет вспомогательное значение в качестве дополнения к корневому внесению, а не заменяет его. Некорневое внесение удобрений вызвано стремлением восполнить недостаток фосфора, обнаруживаемый по внешним признакам. Некорневое фосфорное питание имеет ограниченное значение и в количественном отношении дает растению очень мало. Если применять фосфорнокислые соли только через листья (опрыскивая их периодически слабым раствором), то невозможно вырастить культуру, доведя ее до созревания семян. Это связано с тем, что передвижение минеральных фосфатов из подкормленных ими листьев в другие органы происходит замедленно и осуществляется неполно. Листья отмирают прежде срока и опадают, имея высокое содержание фосфора, тогда как при корневом фосфатном питании отмирающие листья содержат очень мало фосфора.

1.4.13. Калийные удобрения

В природе известны три изотопа калия (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K), из которых предпоследний считается радиоактивным с периодом полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет. В природном калии содержится 0,01 % радиоактивного калия ^{40}K . Кроме того, искусственно получают коротко живущий радиоактивный изотоп ^{42}K с периодом полураспада 12,4 ч.

Сырьем для производства калийных удобрений служат природные калийные соли, промышленные залежи которых сосредоточены в Европе, Казахстане, Средней Азии. Крупнейшее месторождение – Верхнекамское в районе Соликамска. Вторая крупная сырьевая база калийных солей – Старобийское и Петровское месторождения в Белоруссии. На Украине, в Прикарпатье имеются Калуш-Галынское, Стебниковское и другие месторождения. Все месторождения калийных солей подразделяются на хлоридные, составляющие 92 % всех запасов, и сульфатные. В свою очередь, производимые калийные удобрения тоже подразделяются на хлоридные (хлористый калий, смешанные соли) и сульфатные (сульфат калия, калимагнезия, калийно-магнезиальный концентрат).

Основным сырьем для производства хлоридных калийных удобрений является сильвинит, представляющий собой смесь сильвина KCl и галита NaCl , содержащую 12 – 15 % K_2O . Сульфатные калийные удобрения получают из минералов каинитовых, лангбейнитовых и смешанных лангбейнито-каинитовых пород, а также алунитов. Химический состав некоторых калийсодержащих минералов следующий: карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 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 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$, нефелиновый концентрат $(\text{K}, \text{Na})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Калийные удобрения подразделяются на концентрированные удобрения (хлористый калий, сернокислый калий, хлористый калий-электролит, калийная соль, калимагнезия, калийно-магниевый концентрат) и сырые соли (сильвинит, каинит).

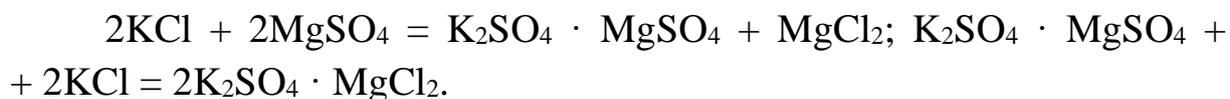
Хлористый калий (хлорид калия KCl) – это основное калийное удобрение, составляющее 80 – 90 % общего производства калийных удобрений. Содержит 53 – 60 % K_2O , влаги не более 1 %. Представля-

ет собой кристаллическое рассыпчатое вещество розового или белого цвета с серым оттенком, производится двумя способами: флотационным и галургическим.

Флотационным способом его получают из сильвинитовых руд. Сущность способа состоит в разделении KCl и $NaCl$ с предварительным выделением глинистого шлама. Флотационное разделение минералов сильвина и галита основано на различной способности их поверхности к смачиванию водой. Предварительно измельченную руду взмучивают в воде или водном растворе с добавлением жирных аминов и через пульпу пропускают воздух, распределяющийся в виде мелких пузырьков. Частицы гидрофобного минерала сильвина прилипают к пузырькам воздуха и выносятся на поверхность пульпы в виде пены. Пенный продукт является концентратом KCl , который обезвоживается на центрифуге и поступает на сушку. Частицы гидрофобного минерала галита собираются на дне флотационной машины и выводятся через сливное отверстие.

Галургический способ производства хлористого калия из сильвинитовой руды основан на различной растворимости в воде KCl и $NaCl$. Растворение ведется при $90 - 100\text{ }^{\circ}C$ с последующим охлаждением раствора до $20 - 25\text{ }^{\circ}C$. В растворах, насыщенных обеими солями, при повышении температуры с $20 - 25$ до $90 - 100\text{ }^{\circ}C$ содержание KCl возрастает примерно в два раза, а $NaCl$ – уменьшается. При охлаждении такого раствора KCl будет кристаллизоваться, а $NaCl$ останется в растворе. Это свойство солей и использовано в циклическом процессе данного способа производства хлористого калия.

Сернокислый калий (сульфат калия K_2SO_4). Это мелкий кристаллический порошок белого цвета (допускается желтоватый оттенок) с влажностью 1,2 %. Содержит 46 – 50 % K_2O , склонность к слеживанию слабая, транспортируется с завода в мешках или без тары. Получают его конверсией шенита в лангбейнит при добавлении KCl , который реагирует с сульфатом магния, что приводит к выделению $MgCl_2$ и дополнительному образованию сульфата калия в удобрении



Хлористый калий-электролит. Удобрение представляет собой хлорид калия с примесями (по 5 % MgO и Na₂O и до 50 % хлора). По действию на растения не отличается от KCl. Это сильно пылящийся мелкокристаллический порошок с желтым оттенком, содержит 31 – 45 % K₂O, не слеживается (влаги не более 4 %), упаковывается в бумажные мешки или перевозится навалом.

Калимагнезия (K₂SO₄ · MgSO₄). Выпускается в виде сильно пылящегося порошка с сероватым и розовым оттенком или серовато-розовых гранул неправильной формы. Содержит 29 % K₂O и 9 % MgO, влажность не более 5 %, не слеживается, перевозится навалом или в бумажных мешках. Как и сульфат калия, применяется под культуры, чувствительные к хлору.

Калийно-магнезиальный концентрат. Производится в виде гранул серого цвета, влажность 1,5 – 7 %. Содержит 18,5 % K₂O и 9 % MgO. Не слеживается, транспортируется без тары. Применяется в первую очередь под культуры, чувствительные к хлору.

Калийная соль смешанная 40%-ная (KCl + NaCl). Это серый кристаллический порошок с включением розовых кристаллов. Представляет собой смесь хлористого калия с размолотым сильвинитом (до 35 % NaCl), влажность не более 2 %. Содержит 40 % K₂O, слеживается, перевозится без тары. Это удобрение наиболее пригодно для культур, отзывчивых на натрий (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды). Предпочтительнее супесчаные и песчаные почвы.

Каинит природный (KCl · MgSO₄ · 3H₂O с примесью NaCl). Это крупные кристаллы розовато-бурого цвета, влажность не более 5 %. Содержание K₂O – 10 %, не слеживается, перевозится навалом.

Цементная пыль. Это отход цементной промышленности, бесхлорное калийное удобрение. Содержание K₂O 10 – 15 %, выпускается в гранулированном виде, упаковывается в бумажные мешки. Калий содержится в виде солей карбонатов, бикарбонатов, сульфатов и в незначительной степени силикатов. В цементной пыли имеются также гипс, окись кальция, полуторные окислы и примеси микроэлементов. Применяется в качестве основного удобрения, особенно на кислых почвах.

Поташ (углекислый калий, K_2CO_3). Это щелочное калийное удобрение, ценное для кислых почв. В кальцинированном поташе должно содержаться 63 – 67 % K_2O . Кальцинирование производят для уменьшения гигроскопичности. Поташ и бикарбонат калия $KHCO_3$ содержатся также в печной золе, получающейся при сжигании дров и соломы. В золе есть и немного фосфатов, бикарбоната калия 47 %.

Сильвинит ($KCl \cdot NaCl$). Это размельченная сильвинитовая порода, размер кристаллов 1 – 4 мм и не более 20 % крупнее 4 мм. Цвет розово-бурый с включением синих кристаллов, содержит 12 – 15 % K_2O и до 75 – 80 % $NaCl$. Используется в незначительных количествах, перевозится без тары, слеживается, вносится под натриелюбивые культуры (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды).

Карналлит ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ с примесью $NaCl$). Это измельченная руда, содержит 12 – 13 % K_2O , очень гигроскопичен, сильно слеживается. Кроме использования в качестве удобрения, его применяют для производства магния. Отход его – электролит KCl – ценное удобрение.

1.4.14. Применение калийных удобрений под сельскохозяйственные культуры

Калийные удобрения распределяются в зависимости от гранулометрического состава почв и содержания в них подвижных форм калия, условий увлажнения, биологических особенностей культур с учетом не только величины планируемого урожая, но и его качества. Наиболее эффективно применение калийных удобрений на песчаных, супесчаных дерново-подзолистых, торфяно-болотных и пойменных почвах, а также на желтоземах и красноземах. Возрастает роль калия на старопашотных орошаемых сероземах при интенсивном возделывании хлопчатника. Слабое действие калийных удобрений характерно на типичных, обыкновенных и южных черноземах, такыровидных, серо-бурых почвах и сероземах. На солонцах калийные удобрения не применяют, так как они усиливают солонцеватость почвы и тем самым могут даже снижать урожайность.

Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается при оптимальном соотношении их с азотными и фосфорными удобрениями. Одностороннее применение калийных удобрений возможно лишь на осушенных торфяниках, торфяно-болотных почвах, обеспеченных другими элементами питания.

Наиболее целесообразно на связных почвах всю ежегодную норму калийных удобрений вносить с осени под плуг при зяблевой вспашке, не проводя подкормок. При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений хлор вымывается осенне-весенними осадками из корнеобитаемого слоя почвы и не оказывает отрицательного действия на хлорофобные культуры. Если с осени калийные удобрения внести не удалось, то следует дать их под перепашку весной, но в этом случае хлорсодержащие удобрения могут оказать отрицательное влияние на урожайность чувствительных к хлору культур. Только на песчаных и супесчаных, а также торфяно-болотных и пойменных почвах калийные удобрения следует вносить весной. На легких почвах, особенно при орошении, часть калийных удобрений можно выделить в подкормку.

К калию наиболее требовательны подсолнечник, табак, овощные, сахарная свекла, кормовые корнеплоды, картофель, плодовые и силосные культуры. В бесхлорных калийных удобрениях нуждаются табак, виноград, плодовые, цитрусовые, гречиха, картофель, лен, лекарственные и эфиромасличные, овощные закрытого грунта. Зерновые, сахарная свекла, кормовые корнеплоды не проявляют отрицательной реакции на хлорсодержащие удобрения.

Глава 2. СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ

2.1. Понятие, задачи и типы систем удобрений

Система удобрения – это комплекс агрономических и организационных мероприятий (накопление, приготовление и правильное хранение органических удобрений, организация системы машин для транспортировки на поле и внесения удобрений, известкование кислых и гипсование солонцовых почв) по рациональному использованию удобрений с целью повышения урожая, улучшения его качества, воспроизводства плодородия и повышения производительности труда в хозяйстве.

Система удобрения – это плановая организация целого комплекса мероприятий, связанных с применением минеральных и органических удобрений.

Основные задачи системы применения удобрений следующие:

- увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и получение продукции высокого качества;
- повышение и постепенное выравнивание плодородия полей, а в некоторых случаях – сохранение существующего их плодородия;
- эффективное использование удобрений, повышение темпа интенсификации земледелия и охрана окружающей среды.

Система удобрения включает:

- научно-организационную систему использования удобрений в различных категориях хозяйств;
- систему применения удобрений в севообороте как важнейшее звено агроландшафтной системы земледелия;
- систему удобрения отдельных культур севооборота, составленную из оптимальных доз, форм, сроков и способов внесения удобрений.

Система удобрения в хозяйстве – это комплекс агрономических и организационно-экономических мероприятий по рациональному использованию минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов (известки, гипса и др.) в целях оптимизации плодородия почвы, повышения продуктивности сельскохозяй-

ственных культур, улучшения качества растениеводческой продукции, а в конечном счете повышения производительности труда в сельском хозяйстве. Она является важнейшим условием интенсификации сельскохозяйственного производства. В этот комплекс мероприятий входят:

- наличие складов для правильного хранения минеральных удобрений с механизированной погрузкой, разгрузкой и тукосмешением;
- накопление и правильное хранение органических удобрений;
- организация транспортных средств для перевозки удобрений;
- наличие комплекса машин по внесению минеральных и органических удобрений;
- известкование кислых и гипсование солонцовых почв;
- наличие научно обоснованной системы применения удобрений в севооборотах.

Основными задачами системы удобрения в хозяйстве можно назвать:

- получение высоких и устойчивых урожаев с хорошим качеством продукции;
- повышение плодородия почв;
- реализация экологических функций удобрений в агроценозе;
- реализация экономической эффективности удобрений, производительности труда;
- снижение себестоимости продукции растениеводства;
- обеспечение максимальной прибыли в хозяйстве.

Систему удобрения в процессе ее развития подразделяют на два этапа.

Первый этап включает разработку и выполнение организационно-хозяйственных и экономических мероприятий, связанных с производством, заготовкой, закупкой, перевозкой и хранением удобрений. Сюда входят выявление всех ресурсов по производству местных удобрений, их заготовке, правильному хранению; планирование мероприятий для известкования кислых и гипсования солонцовых почв; определение потребности в промышленных минеральных удобрениях; организация их завоза, правильное хранение и внесение в почву. При этом важно предусмотреть смешивание и внесение удобрений с заданным соотношением питательных элементов и с учетом плодородия почвы, требований культуры и условий агротех-

ники. При планировании этих мероприятий необходимо максимально предусмотреть комплексную механизацию всех технологических процессов по использованию как органических, так и минеральных удобрений.

Второй этап системы удобрения – это рациональное размещение удобрений по севооборотам и внутри них под различные культуры, а также выбор оптимальных доз, сроков и способов использования удобрений. Эту часть системы удобрения разрабатывают с учетом местных почвенно-климатических условий, экономики хозяйства и наличия удобрительных ресурсов.

В хозяйствах в зависимости от их специализации и удаленности полей севооборотов от животноводческих ферм или промышленно-животноводческих комплексов могут складываться три типа системы удобрения:

- навозно-минеральная, органо-минеральная, или комбинированная, основанная на совместном применении органических (навоз, компосты, торф, зеленое удобрение и др.) и минеральных удобрений;
- минеральная, или безнавозная, при которой применяют одни минеральные удобрения;
- органическая, или навозная, характерная, прежде всего, для некоторых хозяйств промышленно-животноводческого направления и предусматривающая утилизацию бесподстилочного навоза.

Система удобрения в севообороте – часть общей системы удобрения в хозяйстве. В ее основе должно быть наличие освоенных научно обоснованных севооборотов в хозяйстве. При этом важно учитывать специализацию севооборота. Эффективность удобрений в севообороте при правильном чередовании культур более высокая, чем при монокультуре или нарушении севооборота. Севооборот – важнейшее условие высокой эффективности применяемой системы удобрений. Без научно обоснованной системы удобрения в севообороте нельзя говорить о правильной системе удобрения в хозяйстве.

Система удобрений в севообороте – это не простое суммирование удобрений отдельных культур, а сложное взаимодействие биологических, физиолого-биохимических факторов растений с физическими, физико-химическими и биологическими факторами самой почвы и воздействиями человека на условия роста и развития растений.

Под системой удобрений в севообороте понимается распределение органических и минеральных удобрений, химических мелио-

рантов и других удобрительных средств по полям севооборота с учетом обеспечения максимального агрономического и экономического эффекта при непрерывном росте плодородия почв и улучшении их агрохимических, агрофизических и биологических свойств. Предусматривают дозы, сроки и способы внесения удобрений под отдельные культуры с учетом планируемого урожая, физиологических особенностей питания культур и их чередования, технологии возделывания, почвенно-климатических и гидрологических условий, свойств удобрений, экономических условий.

Система удобрения в севообороте должна совершенствоваться и корректироваться в зависимости от изменения плодородия почв, имеющихся ресурсов, средств химизации в хозяйстве, внедрения новых высокопродуктивных сортов и технологических приемов, а также требований охраны окружающей среды. Система удобрения в севообороте и отдельных культур находится в неразрывной связи.

Научная система удобрений в севообороте предусматривает постоянный контроль за воспроизводством плодородия почвы, балансом питательных веществ и гумуса почвы, добиваясь оптимального их содержания с учетом требований культуры и реализации их потенциальной продуктивности.

Система удобрения отдельных культур при их чередовании в севообороте – это план применения органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других удобрительных средств по полям для обеспечения высокого агроэкономического эффекта на основе систематического роста плодородия почв, получения сельскохозяйственной продукции высокого качества и охраны окружающей среды от загрязнения.

Система удобрения отдельных культур в севообороте должна решить две взаимосвязанные задачи: установить наиболее эффективные приемы и технику внесения удобрений, а также их материально-техническое обеспечение; разработать систему удобрения конкретной сельскохозяйственной культуры с учетом комплекса условий с целью реализации потенциальной продуктивности данной культуры и воспроизводства плодородия почвы.

Система удобрения отдельных культур при их чередовании в севообороте предусматривает дозы, формы, сроки и способы внесения удобрений с учетом следующих условий:

- планируемого урожая;
- биологических особенностей питания культуры;
- чередования культур в севообороте и особенностей их агротехники;
- почвенно-климатических условий;
- агрохимической характеристики почв, их естественного плодородия и состояния погоды конкретного года;
- свойств удобрений;
- сочетания органических и минеральных удобрений;
- экономических условий в хозяйстве.

Этот план будет реальным при наличии в хозяйстве необходимого количества и ассортимента минеральных и органических удобрений и химических мелиорантов.

Основная задача комплекса приемов по внесению удобрений – обеспечение оптимальных условий питания растений в течение всей вегетации. При этом важно знать потребность культуры в отдельных элементах питания по фазам роста и возможность размещения их в зоне наибольшего соприкосновения с корневой системой.

Выделяют критический и максимальный периоды поступления того или иного питательного элемента. Установлено, что в отношении фосфора и азота критический период для сельскохозяйственных культур – первые 10 – 15 дней после появления всходов. Резкий недостаток калия в начальные фазы роста и развития растений также значительно снижает урожай. Максимальный период в питании растений соответствует более поздним фазам их развития. Периодичность питания растений служит основанием дробного внесения удобрений.

В полевых условиях критический период потребности в минеральном питании проявляется ранней весной, когда низкая температура замедляет микробиологическую деятельность почвы. Потребность растений в питательных веществах характеризуется выносом их с урожаем основной (хозяйственной) и побочной (нетоварной) продукцией. Определение оптимального количества удобрений для получения плановой урожайности основано на данных о выносе питательных элементов с урожаем, использовании результатов растительной, листовой и почвенной диагностик.

Вынос питательных веществ на единицу основной продукции урожая (с учетом побочной) может существенно меняться в зависимости от почвенно-климатических условий, сорта, величины урожая, уровня вносимых удобрений, поливов. Зная вынос питательных веществ с планируемым урожаем, можно рассчитать потребность в удобрениях культур севооборота.

При расчете дозы питательного вещества учитывают поправку на коэффициент использования того или иного элемента питания из почвы. Он показывает долю потребления элемента питания по отношению к общему содержанию подвижной формы этого элемента в пахотном слое на 1 га. Коэффициенты использования подвижных форм питательных веществ могут существенно изменяться в зависимости не только от биологических особенностей культур, но и плодородия почвы, ее кислотности, погодных условий, уровня агротехники.

На расчетную потребность в удобрениях культур севооборота влияет усвоение ими питательных веществ из органических и минеральных удобрений. Коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений, как правило, более стабильны, чем коэффициенты использования из почвы. Но и они могут заметно изменяться в зависимости от свойств почвы, погодных условий, биологических особенностей культур, форм применяемых удобрений и способа внесения.

При составлении системы применения удобрений в севообороте необходимо учитывать влияние пожнивных и корневых остатков возделываемых культур. Наиболее сильное последствие на питание последующих культур севооборота оказывают корневые и пожнивные остатки бобовых культур.

Важными параметрами, необходимыми для разработки системы удобрения в севообороте, являются:

- планируемые уровни продуктивности севооборота в зависимости от комплекса агротехнических, агроклиматических и других условий;
- оптимальные параметры плодородия основных типов (подтипов) почв;

- показатели баланса питательных веществ, обеспечивающих плановую продуктивность севооборота и расширенное воспроизводство плодородия почв;

- дозы органических удобрений, обеспечивающие бездефицитный баланс гумуса в севообороте;

- нормативные показатели выноса питательных веществ единицей урожая основной продукции с учетом побочной.

При разработке системы удобрения необходимо:

- рассчитать вынос элементов питания планируемым урожаем сельскохозяйственных культур;

- установить по данным выноса питательных элементов планируемым урожаем и интенсивности баланса общую потребность сельскохозяйственных культур севооборота в элементах питания;

- определить общую потребность севооборота в минеральных удобрениях с учетом внесения органических удобрений и поступления биологического азота;

- рассчитать дозы удобрений для получения планируемого урожая отдельно под каждую культуру;

- рассчитать для оптимизации баланса питательных веществ в севообороте поправочные коэффициенты к нормативным дозам азота, фосфора и калия;

- определить дозы минеральных удобрений в севообороте с учетом баланса питательных веществ;

- распределить удобрения в севообороте по способам внесения.

Общее количество удобрений под ту или иную культуру севооборота обычно вносят в один или несколько приемов с использованием различных способов внесения и заделки в почву.

Различают основное (допосевное), припосевное (рядковое, гнездовое) и послепосевное (подкормка) внесение удобрений. Основное удобрение обеспечивает питание растений на протяжении всей вегетации, особенно в период интенсивного роста и развития растений, а следовательно, наибольшего потребления питательных элементов. Оно включает большую часть питательных веществ от общей дозы. Основное удобрение можно вносить осенью или весной, вразброс или локально, с глубокой заделкой плугом с предплужником, плугом без предплужника, тяжелой дисковой бороной и другими орудиями.

Сроки внесения основного удобрения и способ заделки его определяют с учетом почвенно-климатических условий зоны, свойств почвы и удобрений и биологических особенностей возделываемых культур. Основная задача припосевного внесения удобрений заключается в улучшении корневого питания растений в первый период их жизни, когда они еще очень плохо используют питательные элементы почвы. Припосевное внесение удобрений, как правило, небольшими дозами (5 – 20 кг/га) каждого элемента питания обычно сочетают с посевом или посадкой сельскохозяйственных культур. В качестве припосевного удобрения применяют гранулированный простой и двойной суперфосфат, а также комплексные удобрения (аммофос, диаммофос, нитрофос, нитрофоску, нитроаммофос и нитроаммофоску). При высоких дозах основного удобрения положительное действие припосевного удобрения заметно ослабевает.

Для получения высокого урожая хорошего качества большое значение имеет подкормка, или послепосевное удобрение. Подкормка дополняет или улучшает действие основного внесения удобрений. Сочетание этих приемов позволяет обеспечить оптимальное питание растений в процессе всей вегетации культуры, т. е. в периоды наибольшего их потребления.

Послепосевное удобрение обычно применяют:

- при подкормке азотными удобрениями озимых зерновых культур и многолетних трав;
- подкормке азотными и калийными удобрениями пропашных культур, возделываемых на песчаных и супесчаных почвах при орошении и в зоне достаточного и избыточного увлажнения;
- планировании высоких годовых доз минеральных удобрений под культуры, наиболее чувствительные к повышенной концентрации солей;
- подкормке плодово-ягодных насаждений и долголетних культурных пастбищ.

Система удобрения на склоновых землях должна обеспечить не только рост урожайности сельскохозяйственных культур и улучшение качества продукции, но и окультуривание почв, повышение их противозерозионной устойчивости, усиление почвозащитных функций посевов, охрану поверхностного слоя от загрязнения биогенными веществами и патогенными микроорганизмами.

На эродированных почвах необходимо дифференцированное применение удобрений с учетом крутизны, протяженности, экспозиции и частей (верхняя, средняя, нижняя) склона. При этом дозы органических и минеральных удобрений по сравнению с дозами, применяемыми на несмытых почвах, увеличивают не менее чем на 20 % на слабосмытых, на 20 – 50 % на среднесмытых и более чем на 50 % на сильносмытых почвах.

На склоновых землях внесение любых удобрений, включая подкормку, по мерзлой почве осенью, по снегу зимой и ранней весной нерационально из-за значительного смыва их поверхностным стоком и низкой эффективности. Здесь удобрение следует вносить после оттаивания и сброса избыточной воды из пахотного слоя.

В целом же можно отметить общие основные положения научной системы применения удобрений.

1. Наибольшая эффективность удобрений проявляется на фоне высокой культуры земледелия с применением всего комплекса агротехнических мероприятий и постоянной заботой о повышении плодородия почв. Роль агротехники особенно возрастает при внесении высоких доз удобрений, поэтому без высокой культуры земледелия нельзя получить должного эффекта от применяемой системы удобрения. Высокими дозами удобрений нельзя компенсировать нарушения других звеньев научного земледелия.

2. Все культурные растения в процессе вегетации должны получать оптимальное количество и соотношение питательных элементов, что достигается внесением удобрений и мобилизацией питательных элементов почвы. Это объясняется тем, что молодые растения имеют слаборазвитую корневую систему и весьма чувствительны к недостатку питательных веществ, особенно фосфору, что в дальнейшем отрицательно сказывается на росте, развитии растений и формировании урожая. В молодом возрасте они чувствительны и к повышенной концентрации солей, что важно учитывать при применении удобрений. Во второй период вегетации с развитием корневой системы и вегетативной массы повышенная потребность растений в питательных веществах удовлетворяется за счет минеральных удобрений и мобилизации плодородия почвы.

3. Важным условием правильного применения удобрений следует считать послойное размещение их в почве в зоне наибольшего развития корневой системы. Это объясняется тем, что в различные периоды жизни растения потребляют неодинаковое количество питательных веществ и нуждаются в разной концентрации почвенного раствора. Кроме того, фосфор суперфосфата, например, внесенный в почву, обычно слабо продвигается по профилю почвы и закрепляется в местах его внесения. Возникает необходимость вносить удобрения в разные сроки и слои почвы: под вспашку (основное внесение), при посеве (припосевное) и во время вегетации (подкормки). Все эти приемы внесения удобрений имеют большое значение при разработке системы удобрения той или иной культуры с учетом получения запланированного урожая и качества продукции. Сочетание этих приемов позволяет создать условия питания сельскохозяйственных культур в соответствии с их биологическими требованиями.

4. Поскольку в каждом хозяйстве имеется несколько севооборотов, важно правильно распределить удобрения с учетом их специализации. В первую очередь удобрениями обеспечиваются овощные севообороты, которые требуют повышенного количества питательных веществ для формирования высокого урожая. Эти культуры хорошо окупают внесенные удобрения. Резко возрастает потребность в удобрениях полевых севооборотов, насыщенных пропашными, особенно техническими культурами (сахарная свекла, хлопчатник, конопля, лен и др.). В высоких дозах удобрений нуждаются кормовые севообороты, насыщенные кукурузой, кормовыми корнеплодами и т. д. Не последнюю роль при распределении удобрений по различным севооборотам играет удельный вес экономически выгодной культуры. Такие высокоценные культуры хорошо оплачивают единицу внесенного удобрения.

Органические и минеральные удобрения при длительном их применении примерно одинаково эффективны за исключением отдельных условий (легкие почвы, культуры, чувствительные к повышенной концентрации солей, негативное влияние балластных элементов в минеральных удобрениях, физиологическая их кислотность и т. д.). При равных прочих условиях по суммарному количеству биогенных элементов органические и минеральные удобрения равноценны.

Учитывая это обстоятельство, а также экономические показатели, органические удобрения лучше вносить в севообороты, насыщенные высокопродуктивными кормовыми культурами, а минеральные удобрения – в полевые севообороты, особенно насыщенные зерновыми культурами и размещенные на массивах, более удаленных от животноводческих ферм. Важно учитывать также удобренность полей в предшествующие годы, особенно возможное систематическое внесение различных видов органических удобрений, что может существенно изменить баланс гумуса в почве.

Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению подвижных фосфатов в почве и резкому повышению эффективности азотных удобрений. При недостатке азота вследствие нарушения соотношения питательных элементов последствие фосфорных удобрений заметно падает.

Обязательное условие системы удобрения – ее экономическая эффективность. Система удобрения рассчитана на планомерное применение удобрений на каждом поле в течение длительного периода времени.

2.2. Система удобрения в полевом севообороте

Разрабатывая систему удобрения в полевом севообороте, необходимо руководствоваться принципами, которые были описаны выше. Сначала необходимо определить урожайность всех культур севооборота в зависимости от природных и хозяйственных условий по ранее описанным методам.

Потом определить место и нормы органических удобрений, после чего рассчитать нормы минеральных удобрений по одному из тех методов, о которых ранее говорили.

Имея все нормы органических и минеральных удобрений, нетрудно распределить по таким срокам и дозам внесения, которые позволят получить от удобрений максимальную экономическую эффективность без ущерба для плодородия почв (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Нормы удобрений и баланс питательных элементов в севообороте

Культура севооборота	Вынос с 1 т основной продукции с учетом побочной, кг			Планируемый урожай, т/га	Вынос с планируемым урожаем, кг/га			Норма удобрений на планируемый урожай			Урожай без удобрений, т/га	Прибавка, т/га	Вынос питательных веществ на прибавку, кг/га				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Навоз, т/га	Минеральные, кг/га д.в.				N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
									N	P ₂ O ₅						K ₂ O	
Ячмень + многолетние травы	27	11	24	3,0	81	33	72	–	50	120	200	1,0	2,0	54	22	48	
Травы 1-го года	13	6	20	4,5	–	27	90	–	40	–	–	2,0	2,5	32	15	50	
Травы 2-го года	15	6	20	4,5	–	27	90	–	50	–	–	2,0	2,5	37	15	50	
Озимая пшеница	35	12	26	4,0	140	48	104	–	100	150	150	1,0	3,0	105	36	78	
Картофель	6	2	9	25,0	150	50	225	60	60	20	20	6,0	19,0	114	38	170	
Кукуруза на силос	2,5	1,2	4,5	40,0	100	48	180	–	30	60	120	10,0	30,0	75	36	135	
Всего за севооборот					471	233	761	60	330	350	490	–	–	417	162	531	
Внесено питательных веществ с 60 т/га навоза					–	–	–	–	240	120	300	$KI_N = \frac{417 \cdot 100}{570} = 73 \%$ $KI_{P_2O_5} = \frac{162 \cdot 100}{470} = 34,5 \%$ $KI_{K_2O} = \frac{531 \cdot 100}{790} = 67 \%$					
Накопление азота в почве многолетними травами					–	–	–	–	30	–	–						
Итого поступило в почву питательных веществ					–	–	–	–	600	470	790						
Баланс питательных веществ, % к выносу					–	–	–	–	127	202	104						
Разница между поступлением и выносом, кг или кг/га					–	–	–	–	129	237	29	–	–	–	–	–	–
					–	–	–	–	21,5	39,6	4,8						

Таблица 3

Система удобрения в полевом севообороте

Культуры севооборота	Норма удобрений				Основное внесение				При посеве, кг/га д.в		Подкормки, кг/га д.в			
	органических, т/га	минеральных, кг/га д.в			Удобрение под зябь				Под предпосевную культивацию, кг/га д.в	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	навоз, т/га	минеральное, кг/га, д.в								
						P ₂ O ₅	K ₂ O							
Ячмень	–	50	120	200	–	60	170	–	10+1	15+1	30	30	30	
Травы 1-го года	–	40	–	–	–	–	–	–	0	5	40	–	–	
Травы 2-го года	–	50	–	–	–	–	–	–	–	–	50	–	–	
Озимая пшеница	–	100	150	150	–	130	150	40	–	–	50	–	–	
Картофель	60	60	20	20	60	–	–	30	10	20	20	10	20	
Кукуруза на силос	–	–	60	120	–	40	120	30	10	10	–	–	–	

Как показано в табл. 2, все нормы удобрений под культуры севооборота распределены по срокам и дозам так, чтобы они использовались наиболее эффективно. Все культуры при посеве получают фосфорное удобрение, чтобы в самом начале своего развития растения были обеспечены этим элементом, который стимулирует развитие корневой системы.

Для всех культур критическим периодом является начало роста и развития. Дефицит фосфора в этот период невозможно компенсировать даже обильным последующим внесением фосфорных удобрений. При этом способе внесения коэффициент использования удобрений достигает максимальных величин.

Подкормки планируются не под все культуры. Ранневесенние азотные подкормки даются озимым культурам и многолетним травам. В это время почвы еще бывают холодными, переувлажненными и микробиологическая деятельность в них протекает очень слабо, поэтому растения озимых культур и многолетних трав страдают от не-

хватки азота. Внесенный в это время азот способствует быстрейшему отращиванию этих культур и ускоренному росту, что в последующем повышает их урожайность. Только картофель получает одну подкормку полным минеральным удобрением. Она проводится во время окучивания. Все остальные количества удобрений планируется вносить до посева: фосфорно-калийные – под зяблевую вспашку, азотные – под предпосевную культивацию или перепашку зяби.

Насыщенность данного полевого севооборота органическими удобрениями достигает 10 т/га, что позволят получать запланированные урожаи при бездефицитном балансе гумуса. Насыщенность минеральными удобрениями средняя и по элементам достигает следующих величин: N – 55 кг/га, P₂O₅ – 70 кг/га и K₂O – 81 кг/га. Это значит, что на каждый гектар севооборота, кроме 10 т/га навоза, вносят 1,6 ц/га аммиачной селитры, 3,5 ц/га простого гранулированного суперфосфата и 1,3 ц/га хлористого калия.

Интересно проверить данную систему удобрения балансowymi расчетами, которые позволяют судить о том, что будет происходить с плодородием почвы, как будет меняться обеспеченность ее питательными веществами (см. табл. 2). Как видно из приведенной таблицы баланс питательных веществ за ротацию севооборота составил: по азоту $600 : 471 \cdot 100 = 127 \%$; по фосфору $470 \cdot 100 : 233 = 202 \%$ и по калию $790 \cdot 100 : 761 = 104 \%$.

Можно определить и коэффициенты использования питательных элементов культурами за ротацию севооборота отношением количества питательных веществ, вынесенного с прибавкой урожая, к его количеству, внесенного с органическими и минеральными удобрениями, выразив в коэффициентах, т. е. умножив на 100. Баланс питательных веществ и коэффициенты их использования растениями за ротацию севооборота позволяют рассчитывать на получение запланированных урожаев. По балансу можно приближенно судить о возможных изменениях в содержании подвижных форм питательных элементов в почве к концу ротации севооборота.

Установлено, например, что для увеличения содержания подвижных форм фосфора в почве на 1 мг/100 г необходимо внести с удобрениями сверх выноса с урожаем на дерново-подзолистых поч-

вах (песчаных и супесчаных) 50 – 60 кг/га P_2O_5 , на суглинистых – 70 – 150 кг/га, на серых лесных почвах – 70 – 140 кг/га, на черноземах и каштановых почвах – 80 – 120 кг/га.

Для повышения содержания подвижных форм калия на 1 мг/100 г почвы требуется сверх выноса на указанных почвах соответственно 40 – 60, 60 – 160, 60 – 90 и 80 – 130 кг/га K_2O . Из данных табл. 2 видно, что превышение прихода P_2O_5 и K_2O над их расходом соответственно на 237 и 29 кг/га за ротацию обеспечивает увеличение подвижных форм фосфора в 100 г пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы за эти годы на 2,5 – 3,0 мг, а содержание подвижных форм калия практически не изменяется.

Обычно при обосновании правильности системы удобрения в севообороте рассчитывают еще и интенсивность баланса питательных элементов в севообороте – это отношение количества вносимого элемента к количеству этого элемента, выносимого с урожаем и выраженного в процентах, т. е. умноженное на 100. Результат получается выше 100 %, если баланс элемента положительный. Если же он отрицательный, то интенсивность баланса всегда ниже 100 %.

Таким образом, при разработке системы удобрения в севообороте должны быть приведены все параметры ее достоинства: величина урожайности сельскохозяйственных культур; виды, нормы, сроки и способы внесения удобрений; насыщенность удобрениями каждого гектара севооборота; баланс питательных элементов в севообороте; экономическая эффективность применения удобрений.

2.3. Система удобрения в кормовом севообороте

В кормовых севооборотах система удобрения складывается по тем же правилам, что и в полевых, только насыщенность удобрениями другая по сравнению с полевым севооборотом (табл. 4). В таблице приводятся все параметры системы удобрения в кормовом севообороте на выщелоченных черноземах лесостепной зоны достаточного увлажнения. Кормовые севообороты обычно располагаются недалеко от животноводческих ферм, что упрощает их снабжение навозом и поэтому в них, как правило, насыщенность каждого гектара навозом выше.

Таблица 4

Система применения удобрений в кормовом севообороте

Культура севооборота	Урожайность, ц/га	Норма удобрений				Основное внесение				При посеве, кг/га д.в		Подкормки, кг/га д.в			
		органических, т/га	минеральных, кг/га д.в			Удобрения под зябь				Под предпосевную культутивацию N, кг/га д.в	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Навоз, т/га	минеральное, кг/га д.в								
						P ₂ O ₅	K ₂ O								
Клевер на зеленый корм	200	–	90	180	150	–	130	120	60	–	20	30	30	30	
Клевер на сено	20	–	60	90	150	–	–	–	–	–	–	60	90	150	
Кукуруза на зерно	40	–	90	80	80	–	70	80	90	–	10	–	–	–	
Кукуруза на силос	220	50	–	20	–	50	–	–	–	–	20	–	–	–	
Озимый ячмень	30	–	30	20	–	–	–	–	–	–	20	30	–	–	
Кормовая свекла	300	50	90	20	90	50	–	60	50	10	10	30	10	30	
Однолетние травы на сено	60	–	–	20	–	–	–	–	–	–	20	–	–	–	
Озимая рожь на зеленый корм	180	–	40	20	90	–	–	90	–	10	20	30	–	–	

Кроме навоза, всегда планируется внесение минеральных удобрений, чтобы обеспечить максимальную продуктивность кормовых культур. Нормы органических и минеральных удобрений рассчитывают так же, как описано выше.

В кормовых, или прифермских севооборотах, тоже сначала нужно определить урожайность культур, потом поля и культуры, под которые внесение навоза будет наиболее эффективным. Нормы навоза устанавливают согласно биологическим особенностям сельскохозяйственных культур, возможностям хозяйства и плодородию почв (см. табл. 4). В приводимом кормовом севообороте довольно высокие нормы навоза (по 50 т/га) запланированы на двух полях под наиболее отзывчивые культуры – кукурузу на силос и кормовую свеклу. Насыщенность севооборота навозом достигает 12,5 т/га.

Нормы минеральных удобрений рассчитаны балансовым методом, но несколько откорректированы согласно рекомендациям научных учреждений. Например, по расчетам получается, что под клевер необходимо внести около 400 кг/га азота, тогда как эта культура может использовать молекулярный азот атмосферы, и многие ученые считают, что клевер при нормальных условиях сколько выносит из почвы азота столько и накапливает, а иногда даже обогащает. Поэтому под эту культуру азота вносят не более 90 кг/га и то для начального развития и при орошении, а в богарных условиях достаточно 30 – 60 кг/га в зависимости от почвенной разности. По расчетам под некоторые культуры даже в этом случае нужно вносить 10 – 20 кг/га P_2O_5 , а озимые рано весной обязательно подкармливать азотом 30 – 50 кг/га.

Все эти правила были учтены при составлении системы удобрения. Из табл. 4 видно, что припосевное фосфорное удобрение P 10 – 20 получают все культуры, только две культуры удобряются при посеве сложным удобрением, в состав которого входит азот. Подкормки получают озимые культуры, кормовая свекла и многолетние травы. Под озимые вносят только азот (N 30) рано весной сразу после схода снега. Многолетние травы подкармливают полным минеральным удобрением после каждого укоса. Под кормовые корнеплоды тоже проводят одну подкормку во время последней междурядной обработки. Все остальные удобрения применяют в основное внесение: навоз и фосфорно-калийные – под зяблевую вспашку, азотные – весной под перепашку зяби или предпосевную культивацию.

В предлагаемом севообороте насыщенность навозом довольно высокая (12,5 т/га), а минеральными удобрениями – средняя: N 50, P₂O₅ 66, K₂O 70 кг/га д.в.

Балансовые расчеты подтверждают правильность данной системы удобрения. По всем элементам баланс питательных элементов получается положительным: N +41,1; P₂O₅ +30,6; K₂O +9,8 кг/га д.в (табл. 5). Это говорит о том, что предлагаемая система удобрения не только обеспечит высокие урожаи кормовых культур, но будет способствовать повышению плодородия почв.

Таблица 5

Баланс питательных элементов в кормовом севообороте, кг/га д.в

Показатель баланса	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос с урожаем	71,4	50,6	135,2
Поступило в почву с удобрениями:	112,5	81,2	145,0
– органическими	62,5	25,0	75,0
– минеральными	50,0	56,5	70,0
Баланс питательных элементов	+41,1	+30,6	+9,8
Интенсивность баланса, %	157,0	160,0	108,0

2.4. Система удобрения в овощном севообороте

Для примера взяли овощной орошаемый севооборот на серых лесных почвах. Урожайность овощных культур запланирована на довольно высоком, но реальном уровне.

Нормы органических удобрений установлены на более высоком уровне, чем в полевом и кормовом севооборотах. Они определены под наиболее отзывчивые на внесение навоза культуры – под огурцы, столовые тыкву и свеклу, причем под первые две культуры желательнее полуперепревший навоз, а под столовую свеклу – перепревший навоз (табл. 6). Нормы минеральных удобрений рассчитаны балансовым методом с последующей корректировкой согласно рекомендациям научно-исследовательских учреждений для данной зоны. Основные количества удобрений, в том числе навоз (50 т/га) и фосфорно-калийные удобрения, применяют под основную зяблевую обработку.

Таблица 6

Система применения удобрений в овощном орошаемом севообороте

Культура севооборота	Урожайность, ц/га	Норма удобрений				Основное внесение				При посеве, кг/га д.в		Подкормки, кг/га д.в			
		органических, т/га	минеральных, кг/га д.в			Удобрение под зябь				Под предпосевную культивацию N, кг/га д.в	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Органическое, т/га	минеральное, кг/га д.в								
							P ₂ O ₅	K ₂ O							
Клевер на зеленый корм	240	–	90	180	160	–	1470	130	80	10	10	–	30	30	
Клевер на зеленый корм	240	–	60	120	160	–	–	–	–	–	–	60	120	160	
Томаты	250	–	90	80	–	–	50	–	60	–	10	30	20	–	
Огурец	180	50	80	30	–	50	20	–	80	–	10	–	–	–	
Морковь	300	–	30	20	60	–	–	30	–	–	10	30	10	30	
Столовая тыква	300	50	60	20	–	50	–	–	60	–	20	–	–	–	
Столовая свекла	350	–	30	50	90	–	30	60	30	–	10	–	10	30	
Капуста	400	50	90	40	60	50	20	40	50	10	10	30	10	20	

Под все культуры небольшие количества фосфора (Р 10 – 20) вносят в рядки при посеве комбинированными сеялками. Подкормки вводят тоже под все культуры, кроме огурцов и столовой тыквы. Причем многолетние травы первого года и столовую свеклу подкармливают фосфорно-калийными удобрениями: первые – для повышения зимостойкости растений, вторые – для улучшения качества корнеплодов. Томаты лучше отзываются на азотно-фосфорную подкормку. Все остальные культуры должны получить подкормку полным минеральным удобрением. Такая система удобрения позволит получить запланированные урожаи овощных культур и значительно улучшит плодородие почв, потому что баланс всех питательных элементов положительный и достигает: N +66,0; P₂O₅ +50,5; K₂O +31,2 кг/га д.в (табл. 7).

Интенсивность баланса по азоту составляет 187 %, по фосфору – 181 % и по калию – 121 %.

Таблица 7

Баланс питательных элементов в овощном севообороте, кг/га д.в

Показатель баланса	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос с урожаем	75,2	62,0	147,5
Поступило в почву с удобрениями:	141,2	112,5	178,7
– органическими	75,0	45,0	112,5
– минеральными	66,2	67,5	66,3
Баланс питательных элементов	+66,0	+50,5	+31,2
Интенсивность баланса, %	187,0	181,0	121,0

2.5. Техника и технологии выполнения работ при хранении, доставке и внесении удобрений

Органические удобрения накапливают, готовят и хранят так, как было описано выше. Каждое хозяйство должно иметь специальное навозохранилище, где накапливаются и хранятся подстилочный навоз, компосты, торф, фекалии и другие органические удобрения. Для жидкого навоза строят прифермские и полевые хранилища. Доставку и внесение удобрений проводят специальной техникой: навозоразбрасывателями, стальными цистернами, тракторами, автомашинами.

Минеральные удобрения с химических заводов железнодорожным или водным транспортом поступают на прирельсовые или пристанские склады для временного хранения, откуда их затем транспортируют в колхозы и совхозы. При тарных перевозках удобрения упаковывают в водонепроницаемые бумажные, полихлорвиниловые или полиэтиленовые мешки вместимостью 30 – 60 кг, снабженные этикетками с указанием ГОСТа, вида удобрения и завода изготовителя. Пылевидные удобрения (известняковая и фосфоритная мука, преципитат и др.) целесообразно транспортировать в вагонах-цистернах с аэропневматической разгрузкой.

Прирельсовые склады строят вместимостью 1,2 – 15 тыс. т., а для аммиачной селитры сооружают отдельные склады вместимостью 1200 – 3500 т, и предъявляют особые требования к хранению, так как это удобрение пожаро- и взрывоопасно. Жидкие удобрения перевозят в аммиачных цистернах и хранят на складах в вертикальных или горизонтальных металлических резервуарах общим объемом 600 – 2000 м³. При хранении аммиачной селитры на стоечных поддонах высота штабеля допускается до 4,4 м, а на плоских поддонах в два яруса. Без поддона мешки с аммиачной селитрой укладывают штабелем высотой 1,5 – 1,8 м в 8 – 10 рядов. Масса отдельного штабеля не должна превышать 120 т. Все другие затаренные удобрения также следует хранить на стоечных поддонах, которые устанавливают в четыре ряда общей высотой 4,4 м. Незатаренные удобрения можно хранить насыпью высотой до 5 м. Фосфоритную, известняковую муку, а также гранулированный суперфосфат удобно хранить в складах силосного типа.

На прирельсовых складах для выгрузки незатаренных удобрений из вагонов или со склада используют машины, которые разрыхляют удобрения и с помощью ленточных транспортеров подают их на склад или в автомашину.

Затаренные удобрения выгружают из вагонов на склад или перегружают со склада в бортовые автомашины с помощью электро- или автопогрузчиков.

Пылевидные удобрения выгружают из цистерн-цементовозов и крытых вагонов на прирельсовые склады силосного и бункерного типов или в автоцистерны и пневморазгрузчики.

Для подготовки минеральных удобрений к внесению применяют измельчитель-растворитель и измельчитель удобрений, а также специальные смесительно-дозировочные смесительные установки. В хозяйствах чаще всего вносят двойные или тройные смеси минеральных удобрений. Приготовленная смесь должна быть хорошо рассеиваемой и однородной по составу. При подготовке этих смесей влажность аммиачной селитры, сульфата аммония и мочевины не должна превышать 0,3 %, фосфорной муки и калийных удобрений – 2 %, а двойного суперфосфата 5 %. Заблаговременно можно смешивать калийные удобрения с фосфоритной мукой, а с суперфосфатом – только незадолго до внесения. Следует учитывать, что при смешивании аммиачной селитры с суперфосфатом, мочевины с суперфосфатом, а также аммиачной селитры и мочевины образуется гигроскопичная мажущаяся труднорастворимая масса, которую невозможно бывает внести в почву.

В зависимости от удаленности полей от складских помещений и наличия техники доставку и внесение минеральных удобрений и известки проводят по следующим технологическим схемам:

1. *Прямоточная*: прирельсовый склад – разбрасыватель – поле.
2. *Перегрузочная*: прирельсовый склад – транспортные машины – перегрузчики – транспортные машины – перегрузчики – разбрасыватель на поле.
3. *Перевалочная*: прирельсовый склад – автотракторный транспорт – склад хозяйственного или межхозяйственного пункта химизации – глубинный склад хранения удобрений или временные площадки на поле.

Удобрения, хранящиеся на поле после погрузки вносят тракторными разбрасывателями, а если хранились на глубинном складе – автомобильными разбрасывателями. С глубинного районного склада удобрения могут транспортироваться также машинами-погрузчиками

к разбрасывателю на поле. В последнем случае схема называется псевдочечно-перегрузочной.

Если от склада до поля расстояние 3 – 5 км, то, как правило, в прямоточной схеме используют тракторные разбрасыватели; при расстоянии 5 – 8 км и более – автомобильные.

Для внесения удобрений в почву применяют различные механизмы, чаще всего разбрасыватели различных конструкций. Существенным преимуществом этих машин служит их простота, надежность в эксплуатации и значительная дальность разброса удобрений, т. е. производительность. А основным их недостатком считается неравномерная рассеиваемость. Большая часть удобрений попадает на среднюю часть удобряемой полосы, а к краю их количество, постепенно уменьшаясь, сходит на нет. Поэтому для более равномерного рассеивания удобрений по поверхности почвы их надо вносить с перекрытием краев удобряемой полосы. Чем больше перекрытие, тем меньше ширина рабочего захвата, но выше качество распределения удобрений по поверхности почвы.

Аммиачную селитру рассеивают с допустимой неравномерностью 25 % при рабочей ширине захвата машины 1-РГМ-4 не более 7 – 8 м, при вдвое большем захвате агрегата (14 м) неравномерность внесения возрастает в 3,5 раза.

По мере улучшения физико-механических свойств удобрений и выпуска высококонцентрированных форм в гранулированном или крупнокристаллическом виде задача конструкторов по созданию аппаратов для штучной дозировки и равномерного внесения удобрений в значительной мере будет облегчена. Требуется создание агрегатов, способных равномерно в строго нормированной дозе вносить минеральные удобрения. Установки разбрасывателей центробежного действия (НРУ-0,5 и 1-РГМ-4) на норму высева предшествует определение рабочей ширины захвата машины. Для различных видов удобрений ее находят по данным заводских инструкций или путем замера на поверхности почвы ширины той части удобряемой полосы, на которую рассеивается основная масса удобрений.

Когда предполагается использовать машины для внесения смеси, составляемой из удобрений различного гранулометрического состава, рабочую ширину захвата принимают по тому компоненту, который рассеивается более узкой полосой. Например, если рассеивается смесь гранулированного суперфосфата с мелкокристаллическим хлористым калием, то машина должна работать лишь с таким захватом, который соответствовал бы ширине рассева хлористого калия.

Для разбросного внесения минеральных удобрений в почву, кроме разбрасывателей 1-РГМ-4, КСА-3, НРУ-0,5, выпускаются туковые сеялки РТТ-4,2 и СТШ-2,8. Все они агрегируются с различными типами тракторов, имеющихся в хозяйстве. Для припосевного внесения минеральных удобрений под зерновые культуры применяют зернотуковые сеялки СЗ-3,6, комбинированные узкорядные сеялки СЗУ-3,6 и зернотуковые сеялки СЗП-3,6. Рядковое внесение удобрений под зерновые культуры возможно также льяными комбинированными сеялками СУЛ-48 и СЛН-48А и др.

Для ранневесенней подкормки озимых культур и многолетних трав используют самолеты и вертолеты. Экономически выгодный радиус действия самолета с аэродрома равен примерно 10 – 12 км, а доза внесения удобрений 100 – 200 кг/га.

В настоящее время использование авиации для подкормок обходится очень дорого и вряд ли себя оправдывает. Поэтому лучше использовать наземные средства.

На вывозке жидких удобрений из глубинного склада до поля, кроме автоцистерн, применяют заправщики-жижеразбрасыватели ЗЖВ-1,8 (РЖ-1,7) и заправщики ЗУ-3,6. Для транспортировки жидкого аммиака используют заправщики на шасси автомобиля ЗИЛ-130 и автомобильную систему МЖА-6-130В (емкостью 6 т) к автомобильному тягачу ЗИЛ-130-В. Вносят жидкий аммиак машинами АБА-0,5 и АБА-1,5М, агрегируемыми с тракторами класса 1,4 – 3 тс.

Глава 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ

Цель и задачи курсового проекта (работы)

Курсовой проект (работа) имеет целью выявить умение студента применять полученные теоретические знания при решении практических задач в области химизации земледелия.

В процессе выполнения работы студент расширяет знания в области агрохимических и смежных с агрохимией дисциплин, приобретает навыки самостоятельной разработки системы удобрения в севообороте и других мероприятий, направленных на повышение эффективности средств химизации.

При выполнении курсового проекта студент должен:

- освоить методы расчета норм удобрений под сельскохозяйственные культуры;
- разработать на примере одного севооборота систему применения удобрений на основе оптимальных рекомендуемых норм удобрений под сельскохозяйственные культуры в данном регионе с учетом их биологических особенностей питания и последствий удобрения в севообороте;
- составить на основе разработанной системы план применения удобрений на конкретный год, используя метод поправочных коэффициентов на содержание элементов питания в почве с учетом наличия удобрений в хозяйстве;
- дать теоретическое обоснование выбранных сроков, способов, доз и форм вносимых удобрений, исходя из планируемой урожайности, агрохимических свойств почвы и биологических особенностей питания культуры;
- рассчитать баланс питательных веществ и гумуса, дать прогноз изменения содержания доступных форм фосфора и калия в почвах севооборота, наметить пути повышения почвенного плодородия и совершенствования разработанной системы удобрений;
- дать энергетическое обоснование применения удобрений в системе севооборота.

Содержание курсового проекта

Курсовой проект включает следующие разделы:

1. Введение.
2. Общие сведения о хозяйстве.
3. Характеристики почвенно-климатических условий хозяйства.
4. Определение накопления органических удобрений в хозяйстве.
5. Химическая мелиорация почв.
6. Определение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры и расчет потребности удобрений в севообороте:
 - определение норм органических удобрений на основе баланса гумуса в севообороте;
 - предложения по увеличению выхода органических удобрений в хозяйстве;
 - расчет норм удобрений в системе комплексного агрохимического окультуривания полей;
 - определение норм удобрений под озимые культуры при возделывании их по интенсивной технологии;
 - расчет норм удобрений на планируемую урожайность (метод элементарного баланса);
 - разработка системы и плана применения удобрений в севообороте на основе прямого использования результатов полевых опытов при выборе норм удобрений и их обоснование;
 - расчет годовой потребности удобрений для севооборота.
7. Расчет ожидаемого баланса питательных веществ в севообороте и прогноз возможного изменения почвенного плодородия по завершении ротации севооборота.
8. Расчет энергетической эффективности применения удобрений в севообороте.
9. Список литературы и других источников, использованных при выполнении курсового проекта (работы).

3.1. Введение

Во введении необходимо дать понятие системы удобрения в хозяйстве, севообороте и указать основные задачи, которые можно решить благодаря рациональной системе применения удобрений. Увязать значение систематического применения удобрений в севооборотах с повышением их продуктивности, изменением качества получаемой продукции и плодородия почв. Необходимо отразить состояние и перспективы химизации страны, региона, области, где расположено хозяйство.

3.2. Общие сведения о хозяйстве

Для заполнения таблиц данного раздела необходимо использовать следующие документы:

- годовые отчеты хозяйства за последние годы;
- бизнес-план на год составления системы удобрений;
- систему земледелия и план внутрихозяйственного землеустройства;
- данные статистической отчетности по применению удобрений;
- материалы почвенного и агрохимического обследования земель хозяйства.

3.3. Характеристика почвенно-климатических условий хозяйства

Сведения о почвенно-климатических условиях хозяйства (района) можно получить из агроклиматических справочников, систем земледелия, а также почвенного очерка и результатов агрохимического обследования почв хозяйства.

При анализе климатических условий необходимо провести расчеты действительно возможного урожая на основе влагообеспеченности по формуле

$$\text{ДВУ} = \frac{100 \cdot W_0 \cdot 0,7}{K_w}, \text{ ц/га,}$$

где W_0 – количество осадков, выпавших на территории хозяйства, мм;
0,7 – коэффициент их полезности;

K_w – коэффициент водопотребления культуры, мм · га/ц сухой биомассы;
100 – коэффициент перевода осадков, ц/га.

Справочный материал, необходимый для расчета, представлен в приложении.

В разделе необходимо дать краткую характеристику почв хозяйства, а также заключение об уровне плодородия почв севооборота, для которого будет разработана система удобрений, обратив особое внимание на обеспеченность почв микроэлементами и загрязнение их тяжелыми металлами.

3.4. Определение накопления органических удобрений в хозяйстве

Выход свежего навоза определяют в зависимости от вида животного и продолжительности стойлового периода на основе данных табл. 8.

Таблица 8

Годовой выход навоза от одного животного при содержании на соломенной подстилке, т

Взрослые животные	Продолжительность стойлового периода, дн.			
	240 – 220	220 – 200	200 – 180	< 180
КРС	9 – 10	8 – 9	6 – 8	4 – 5
Лошади	7 – 8	5 – 6	4 – 4,5	2,5 – 3
Свиньи	2,25	1,75	1,5	1,0
Овцы	1,0	0,9	0,6 – 0,8	0,4 – 0,5

Для перевода свежего навоза в полуперепревший используют коэффициент 0,75.

При стойловом содержании животных в результате неполного выпитывания мочи и разложения навоза образуется навозная жижа. Общее количество образующейся навозной жижи составляет 10 – 15 % от массы свежего навоза. При наличии птицеферм в хозяйстве от 1000 кур можно получить 5 – 6 т помета, от 1000 гусей 10 – 11 т, от 1000 уток 8 – 9 т помета.

При наличии животноводческих комплексов рассчитывают выход полужидкого (бесподстилочного) навоза по формуле

$$N_{пж} = \frac{V_{пж} \cdot D_c \cdot Ч_c}{1000}, \text{ т,}$$

где $N_{пж}$ – полужидкий навоз;

$V_{пж}$ – выход выделений от одной головы животного за сутки, кг;

D_c – продолжительность стойлового периода, дн.;

$Ч_c$ – численность стада, гол.

Для пересчета органических удобрений на подстилочный навоз пользуются коэффициентами, приведенными в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты пересчета органических удобрений
на подстилочный навоз

Вид органических удобрений	Коэффициент пересчета
Подстилочный навоз (влажность до 77 %)	1,0
Твердая фракция бесподстилочного навоза	1,0
Бесподстилочный полужидкий навоз (влажность 90 – 93 %)	0,5
Жидкий навоз (влажность 93 – 97 %)	0,25
Навозные стоки (влажность более 97 %)	0,1
Торфонавозный компост	1,2
Торфопометный компост	1,3
Птичий помет подстилочный (влажность до 65 %)	1,2
Птичий помет полужидкий (80 – 90 %)	0,65
Солома (с добавлением 8 – 12 кг/т азота)	3,4
Сапрпель (влажность 60 %)	0,25
Сидеральные удобрения	0,25

Органические удобрения лучше хранить в навозохранилищах, расчет площади которых проводят исходя из нормативов, приведенных в табл. 10.

Таблица 10

Площадь навозохранилища на одну голову скота при высоте укладки подстилочного навоза 1,5 – 2 м, м²

Вывозка навоза	Вид скота				
	КРС	Свиньи	Молодняк КРС и лошадей	Лошади	Овцы, козы
Однократная	5,0	1,5	3,0	4,0	0,5
Двукратная	2,0	0,6	1,2	1,2	0,2

При навозохранилище для сбора навозной жижи должны быть построены жижесборники. Объем их устанавливают из расчета 1,3 м³ на 100 т хранящегося свежего навоза. При расчете необходимо предусмотреть минимум 4-кратное опорожнение их в период хранения навоза и кратность его вывозки. Вместимость одного жижесборника должна быть не менее 3 – 4 м³.

3.5. Химическая мелиорация почв

Для коренного улучшения кислых и солонцовых почв необходимо проводить химическую мелиорацию в сочетании с другими агротехническими приемами.

Нечерноземные почвы нуждаются во внесении кальцийсодержащих удобрений при $pH_{\text{сол}} < 5,5$; гидролитической кислотности $H_T > 3$ мг-экв. на 100 г почвы и степени насыщенности основаниями менее 90 %. Норму извести определяют по формуле

$$D = 0,05 \cdot H_T \cdot d \cdot h, \text{ т/га CaCO}_3,$$

где 0,05 – эквивалент CaCO_3 ;

H_T – величина гидролитической кислотности, мг-экв./100 г почвы;

d – объемная масса почвы, г/см³;

h – глубина мелиорируемого слоя, см.

Расчетная (полная) форма извести уточняется с учетом гранулометрического состава почвы и биологических особенностей питания культур. На почвах легкого гранулометрического состава под культуры, толерантные к кислотности, и степени насыщенности 80 – 90 % полная норма CaCO_3 может быть уменьшена на 1/4 – 1/3 (оптимальная норма). В других случаях оптимальная норма равна полной.

Норму извести в физической массе рассчитывают по формуле

$$D_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{опт}} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{(100 - B) (100 - K) C},$$

где $D_{\text{опт}}$ – оптимальная норма CaCO_3 , т/га;

B – содержание влаги, %;

K – количество недеятельных частиц (крупнее 1 мм), %;

C – содержание CaCO_3 в известковом удобрении, %.

При использовании дефеката в качестве мелиоранта применяют формулу

$$D_{\text{деф}} = \frac{D_{\text{опт}} \cdot 100 \cdot 100}{(100 - B) C}.$$

Буквенные значения указаны выше.

Исходя из агрохимических показателей почв севооборота, для которого разрабатывается система удобрения, определяют необходимость проведения мелиоративных мероприятий и устанавливают место, дозы и сроки внесения известковых материалов. При отсутствии необходимости проведения мелиорации эти приемы не описываются.

3.6. Определение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры и расчет потребности удобрений в севообороте

3.6.1. Определение норм органических удобрений на основе баланса гумуса в севообороте

Роль гумуса в жизни растений многообразна. Гумус определяет основные физические и биологические свойства почвы. Без применения удобрений связь урожая с содержанием гумуса настолько тесная, что гумус становится одним из основных бонитировочных признаков плодородия почвы.

Расчет баланса гумуса позволяет осуществить контроль за характером изменения содержания гумуса при сложившейся структуре посевных площадей и уровне применения удобрений.

Баланс гумуса – соотношение между его расходом и восполнением. Основными статьями прихода гумуса являются гумификация корневых и пожнивных остатков растений и вносимые органические удобрения. Основные статьи расхода гумуса – минерализация и потери в результате эрозии.

Приходные статьи баланса гумуса, т/га

1. Гумификация корневых и пожнивных остатков. Количество корневых и пожнивных остатков зависит от культуры и урожайности. Количество образующегося из остатков гумуса зависит от их количества и степени гумификации. Его можно рассчитать по формуле

$$Г_1 = У \cdot K_p \cdot K_r,$$

где $Г_1$ – количество гумуса, образующегося из пожнивных и корневых остатков;

$У$ – урожай культуры, т/га;

K_p – коэффициент накопления корневых и пожнивных остатков относительно урожая культуры (табл. 11);

K_r – коэффициент гумификации растительных остатков (табл. 12).

Таблица 11

Коэффициенты выхода корневых и пожнивных остатков
относительно урожая основной продукции культуры K_p

Культура	Урожай, т/га	K_p	Культура	Урожай, т/га	K_p
Озимые зерновые	1,0	1,8	Кормовые корнеплоды	10,0	0,13
	2,0	1,5		25,0	0,11
	3,0	1,3		40,0	0,08
Яровая пше- ница, ячмень	1,0	1,6	Подсолнечник	1,0	2,4
	2,0	1,4		2,0	1,7
	3,0	1,2	Картофель	10,0	0,17
Овес	1,0	1,8		20,0	0,14
	2,0	1,5		30,0	0,10
	3,0	1,3	Кукуруза на силос	10,0	0,27
Просо, гречиха	1,0	1,7		20,0	0,21
	2,0	1,4	30,0	0,16	
Кукуруза на зерно	1,0	1,8	Силосные без кукурузы	10,0	0,24
	2,0	1,5		20,0	0,19
	3,0	1,3		30,0	0,17
Зернобобовые	1,0	1,4	Однолетние травы на сено	1,0	2,2
	2,0	1,3		2,5	1,5
	3,0	1,2		4,0	1,2
Многолетние травы на сено	1,0	2,8	—	—	—
	3,0	1,9			
	6,0	1,7			

Таблица 12

Коэффициенты гумификации растительных остатков
и органических удобрений K_r

Культура, группа культур	Коэффициент
Зерновые, зернобобовые	0,25
Подсолнечник	0,20
Картофель, овощи, кормовые корнеплоды	0,10
Кукуруза	0,15
Однолетние травы (сено)	0,25
Многолетние травы (сено)	0,30
Навоз подстилочный	0,09
Навоз в пересчете на сухое вещество	0,33

2. Гумификация органических удобрений. Органические удобрения повышают урожай, а следовательно, и количество корневых и пожнивных остатков. Часть органического вещества гумифицируется и непосредственно участвует в восполнении гумуса. О восполнении гумуса за счет внесения органических удобрений будет сказано ниже.

Расходные статьи баланса гумуса, т/га

1. Минерализация гумуса. Размер минерализации гумуса определяется общим количеством гумуса в пахотном слое, степенью его устойчивости при той или иной системе обработки почвы, климатическими условиями. Потери гумуса за счет минерализации можно рассчитать по формуле

$$П_{\text{м}} = Г \cdot h \cdot d \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}},$$

где $П_{\text{м}}$ – потери гумуса за счет минерализации;

$Г$ – содержание гумуса в почве, %;

h – глубина пахотного слоя, см;

d – объемная масса почвы, г/см³ (табл. 13);

$K_{\text{м}}$ – коэффициент минерализации гумуса (табл. 14);

$K_{\text{к}}$ – относительный индекс биологической продуктивности, который характеризует климатические условия минерализации гумуса в исследуемом месте по отношению к среднему показателю по стране, принятому за единицу.

При размещении в одном поле нескольких культур накопление гумуса и потери определяют как средневзвешенные показатели.

Таблица 13

Объемная масса почвы

Почва	Объемная масса, г/см ³
Дерново-подзолистая супесчаная	1,4 – 1,6
Дерново-подзолистая и светло-серая лесная суглинистая	1,3 – 1,4
Серая лесная	1,2 – 1,3
Темно-серая лесная, чернозем оподзоленный	1,1 – 1,2

Коэффициенты минерализации гумуса

Группа культур по интенсивности обработки	Зона		
	лесная		таежная
	Почва		
	светло-серая лесная суглинистая	серая лесная	дерново- подзолистая
Многолетние травы	0,0037	0,0032	0,0027
Зерновые	0,0060	0,0052	0,0045
Пропашные	0,0125	0,0108	0,0095
Чистые пары	0,0162	0,0140	0,0120

2. Потери гумуса от эрозии. В результате смыва почвы на эродированных полях и участках происходят потери гумуса, которые можно определить по формуле

$$P_э = \frac{C_c \cdot \Gamma}{100},$$

где $P_э$ – потери гумуса в результате эрозии, т/га;

C_c – среднегодовой смыв почвы, т/га (табл. 15);

Γ – содержание гумуса в почве, %.

По результатам накопления гумуса за счет гумификации корневых и пожнивных остатков и его потерь рассчитывают баланс гумуса по каждому полю и в целом по севообороту

$$\pm B_{\Gamma} = \Gamma_1 - P_{о1}, \text{ т/га,}$$

где Γ_1 – количество гумуса, образовавшееся из корневых и пожнивных остатков;

P_o – общие потери гумуса, т/га.

Исходя из баланса гумуса в целом по севообороту определяют дефицит его в расчете на 1 га севооборотной пашни

$$D_{\Gamma} = \frac{-B_{\Gamma c}}{n},$$

где D_{Γ} – дефицит гумуса на 1 га пашни, т/га;

$-B_{\Gamma c}$ – дефицит гумуса в целом по севообороту, т;

n – количество полей в севообороте.

Ориентировочный смыв почвы со склонов

Агрофон	Уклон, град.	Смыв почвы, т/га
Зябрь	Более 3	8,00
Озимые	»	3,40
Многолетние травы	»	1,20

Дефицит гумуса в севообороте можно восполнить внесением органических удобрений

$$N_{\text{орг}} = \frac{D_{\text{г}}}{K_{\text{г}}},$$

где $N_{\text{орг}}$ – потребность в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса, т/га;

$D_{\text{г}}$ – дефицит гумуса, т/га;

$K_{\text{г}}$ – коэффициент гумификации органических удобрений.

Коэффициент гумификации стандартного подстилочного навоза КРС приведен в табл. 12. При использовании других видов органических удобрений их пересчитывают на подстилочный навоз (см. табл. 9).

Общую потребность в органических удобрениях по севообороту вычисляют как произведение потребности и площади пашни севооборота

$$P_{\text{орг}} = N_{\text{орг}} \cdot S_{\text{п}}, \text{ т},$$

где $N_{\text{орг}}$ – потребность в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса, т/га;

$S_{\text{п}}$ – площадь пашни севооборота, га.

3.6.2. Предложения по увеличению выхода органических удобрений в хозяйстве

На основе расчета баланса гумуса и выявленного дефицита в органических удобрениях даются предложения по его устранению. Основное внимание с учетом реалий настоящего периода следует обратить на непосредственное использование соломы озимых культур на удобрение. Необходимо провести расчет потребного количества со-

ломы для устранения дефицита органических и азотных удобрений для компенсации минерального азота почвы за счет процессов его иммобилизации при внесении соломы.

3.6.3. Расчет норм удобрений в системе комплексного агрохимического окультуривания полей

Комплексное агрохимическое окультуривание полей (КАХОП) – это научно обоснованная система применения средств химизации, направленная на повышение плодородия почв и получение запланированных урожаев.

Основные особенности применения средств химизации в системе КАХОП: комплексность в соответствии с агрохимическим состоянием почвы и потребностью культур в питательных элементах в последующие годы ротации севооборота; внесение удобрений в лучшие агротехнические сроки и в объемах, необходимых для существенного повышения плодородия почвы и получения запланированного урожая сельскохозяйственных культур.

В системе КАХОП используют органические и минеральные удобрения, мелиоранты, фосфоритную муку, ретарданты и другие средства химизации. Проводят КАХОП, как правило, в поле чистого (черного) пара с последующим размещением на нем озимой пшеницы.

Урожайность озимой пшеницы и цель КАХОП планируют исходя из уровня содержания доступных форм фосфора в почве. При содержании P_2O_5 в почве > 100 мг/кг можно возделывать культуру по интенсивной технологии при одновременном повышении плодородия почв до оптимального уровня. При меньшем уровне обеспеченности (< 100 мг/кг) озимую пшеницу выращивают по общепринятой схеме в зоне агротехники, и проводимые мероприятия в системе КАХОП должны быть направлены на улучшение плодородия.

При планировании величины урожая озимой пшеницы можно пользоваться показателями, приведенными в табл. 16.

Исходные агрохимические показатели почвы и планируемая урожайность озимой пшеницы в оптимальном цикле севооборота

Урожайность, т/га	Содержание в почве			Цель проведения агрохимических мероприятий
	гумуса, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	
2,1 – 2,3	4,4 – 4,6	< 20	< 20	Повышение плодородия почвы
2,3 – 3,0	4,6 – 5,0	20 – 50	20 – 40	» » »
3,0 – 4,0	5,0 – 5,5	50 – 75	40 – 80	» » »
4,0 – 4,8	5,5	75 – 100	80 – 100	» » »
4,8 – 5,5	> 5,5	> 100	> 100	Интенсивная технология, повышение плодородия до оптимального уровня для данного типа почвы

Применение органических удобрений

При КАХОП органические удобрения вносят в нормах, обеспечивающих бездефицитный баланс гумуса, один или два раза за ротацию севооборота. При внесении органических удобрений в двух полях севооборота норму внесения их в поле КАХОП рассчитывают следующим образом. Прежде всего определяют потребность в органических удобрениях других культур севооборота исходя из средней рекомендуемой нормы внесения навоза в данной зоне П₁. Объем органических удобрений для КАХОП рассчитывают по формуле

$$П = П_{\text{орг}} - П_1, \text{ т},$$

где П_{орг} – потребность в органических удобрениях на бездефицитный баланс гумуса в севообороте, т;

П₁ – потребность в органических удобрениях других культур севооборота.

Норму органических удобрений на поле КАХОП определяют по формуле

$$D_{\text{орг}} = \frac{П}{S}, \text{ т/га},$$

где П – объем органических удобрений, планируемый для внесения на поле КАХОП, т;

S – площадь поля, га.

В случае применения навоза в одном поле севооборота общая потребность в нем для определения нормы внесения делится на площадь поля КАХОП.

Применение минеральных удобрений

Фосфорные и калийные удобрения применяют в нормах, обеспечивающих повышение плодородия почвы и покрывающих затраты на формирование планируемого урожая сельскохозяйственной культуры, идущей по пару КАХОП. Дозы их внесения определяют по формуле

$$D_{P_2O_5 \text{ или } K_2O} = [(0,1 \cdot DP \cdot H_3) - P] + (Y \cdot N_3 \cdot K), \text{ кг/га д.в.},$$

где DP – разность между исходным и планируемым содержанием фосфора или калия в почве, мг/кг;

H_3 – норма P_2O_5 или K_2O , необходимая для увеличения содержания их на 10 мг/кг почвы, кг/га;

P – содержание P_2O_5 или K_2O в планируемой к внесению норме органических удобрений, кг;

Y – планируемый урожай культуры, идущей по пару КАХОП, т/га;

N_3 – норматив затрат фосфора или калия на получение 1 т основной продукции, кг;

K – поправочный коэффициент на содержание P_2O_5 или K_2O в почве.

Увеличение содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия за счет минеральных удобрений (DP) при проведении КАХОП дифференцируется в зависимости от их исходного содержания в почве (табл. 17). Поправочные коэффициенты на агрохимические свойства почвы приведены в табл. 18.

Таблица 17

Увеличение содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве в зависимости от исходного их содержания в почве, мг/кг

Исходное содержание в почве (по Чирикову)		Возможное увеличение содержания в почве	
P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
< 50	< 40	25	50
51 – 100	41 – 80	20	35
101 – 150	81 – 120	10	25
> 150	> 120	0	0

Таблица 18

Поправочные коэффициенты на агрохимические свойства почвы в зависимости от содержания подвижного фосфора и обменного калия

Класс обеспеченности почв	Исходное содержание в почве (по Чирикову), мг/кг		Поправочный коэффициент к оптимальным нормам удобрений		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	азотным*	фосфорным	калийным
1	< 20	< 20	1,2	1,5	1,6
2	21 – 50	21 – 40	1,1	1,25	1,4
3	51 – 100	41 – 80	1,0	1,0	1,2
4	101 – 150	81 – 120	0,9	0,75	1,0
5	151 – 200	121 – 180	0,8	0,5	0,7
6	> 200	> 180	0,7	0,2	0,5

* Дозы N корректируются по содержанию P₂O₅.

Нормы фосфора и калия, необходимые для увеличения содержания их на 10 мг/кг почвы, зависят от подтипа почвы и её гранулометрического состава (табл. 19).

Таблица 19

Нормативы затрат питательных веществ для увеличения содержания фосфора и калия на 10 мг/кг почвы

Почва	Гранулометрический состав*	Доза, кг/га д.в	
		P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-подзолистая	1	50 – 60	40 – 60
	2	70 – 90	60 – 80
	3	100 – 120	80 – 100
Серая лесная	1	70 – 80	60 – 70
	2	90 – 110	70 – 80
	3	120 – 140	80 – 90

* 1 – песчаные и супесчаные почвы; 2 – легко- и среднесуглинистые почвы; 3 – тяжелосуглинистые и глинистые почвы.

При расчете норм внесения минеральных удобрений учитывают и количество питательных элементов, поступивших в почву с навозом, исходя из его среднего химического состава: N – 0,5 %; P₂O₅ – 0,25 %; K₂O – 0,6 %.

Минеральные удобрения, применяемые в системе КАХОП, должны обеспечить не только повышение почвенного плодородия, но и затраты элементов питания на формирование урожая культуры,

идущей по пару КАХОП. Нормы удобрений для получения планируемого урожая устанавливаются методом нормативных затрат элементов питания на получение единицы урожая (табл. 20) с учетом поправочных коэффициентов на содержание подвижных форм фосфора и калия в почве (см. табл. 18).

Таблица 20

Нормативы затрат элементов питания на единицу основной продукции, кг д.в на 1 т

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	28	27	22
Озимая рожь	23	21	19
Яровая пшеница	21	24	19
Ячмень	21	20	19
Овес	29	26	17
Кукуруза на зерно	20	17	14
Гречиха	30	29	26
Просо	28	27	25
Горох	11	30	16
Вика	–	23	16
Сахарная свекла	6,5	6,6	6,5
Подсолнечник	35	47	11
Кориандр	51	67	37
Картофель	5,4	6,6	5,0
Овощные	2,9	2,3	2,9
Кукуруза на силос	2,7	2,6	2,4
Кормовые корнеплоды	2,2	2,2	2,0
Однолетние травы (сено)	17	15	12
Многолетние травы (сено)	11,7	12,9	12,9
Сенокосы и пастбища (сухая масса)	24,2	12,3	12,3
Плодовые	7,3	7,0	8,0

Если при расчете окажется, что содержание фосфора или калия во вносимых органических удобрениях достаточно для повышения почвенного плодородия до оптимального уровня и часть их остается на формирование урожая, то норму фосфорных и калийных удобрений рассчитывают как разницу между потребностью их на планируемый урожай и оставшейся частью с учетом коэффициентов использования фосфора и калия из навоза (0,2 для P₂O₅ и 0,5 для K₂O).

Если расчетная норма удобрений получается менее 1 ц физической массы, то она либо округляется до единицы по правилам округления, либо принимается равной нулю, так как технические параметры машин для внесения туков не позволяют равномерно распределить по полю минеральные удобрения в дозе менее 1 ц.

Если в поле КАХОП предусмотрено известкование, а расчетная норма калийных удобрений равна нулю, то в целях выравнивания в почве соотношения кальция и калия целесообразно внести 40 – 60 кг/га K_2O .

Пример расчета

Исходное содержание P_2O_5 – 85 мг/кг почвы,

K_2O – 105 мг/кг почвы.

Почва серая лесная, среднесуглинистая.

Планируемая урожайность озимой пшеницы – 4,5 т/га.

В поле будет внесено 40 т/га навоза.

а) Расчет нормы фосфорных удобрений:

$D_P = 20$ мг/кг почвы;

$N_3 = 100$ кг д.в /га;

$K = 1$;

$N_3 = 27$ кг/т;

$P = 40 \cdot 2,5 = 100$ кг/га P_2O_5 ;

$D_{P_2O_5} = [(0,1 \cdot 20 \cdot 100) - 100] + (4,5 \cdot 27 \cdot 1) = 221,5$ кг/га ≈ 220 кг/га.

б) Расчет нормы калийных удобрений:

$D_P = 25$ мг/кг почвы;

$N_3 = 80$ кг д.в /га;

$K = 1$;

$N_3 = 21$ кг/т;

$P = 40 \cdot 6 = 240$ кг/га K_2O ;

$D_{P_2O_5} = [(0,1 \cdot 25 \cdot 80) - 240] + (4,5 \cdot 21 \cdot 1) = [-40 \cdot 0,5] + 94,5 \approx 75$ кг/га.

Применение мелиорантов в системе КАХОП

Мероприятия в системе КАХОП планируются на основании материалов, изложенных в п. 2.5, и расчетов, проведенных в соответствующем разделе курсовой работы.

3.6.4. Определение норм удобрений под озимые культуры, возделываемые по интенсивной технологии

При выполнении данного подраздела учитывают показатели того поля, в котором будут размещаться озимые культуры по интенсивной технологии, и планируемую урожайность с учетом предшественника.

Нормы азотных удобрений рассчитывают методом элементарного баланса с учетом содержания минеральных форм азота в почве по результатам почвенной диагностики, проведенной до посева культуры. В случае отсутствия указанных данных считают, что в чистых (черных) парах накапливается к моменту посева озимых от 80 до 120 кг/га минерального азота, под многолетними травами – от 60 до 80 кг/га, под зерновыми и пропашными культурами – от 30 до 60 кг/га.

За счет минерализации гумуса в период вегетации озимых запасы азота в почве увеличиваются на 20 – 30 % от первоначального его содержания.

Расчет ведут по формуле И. С. Шатилова и М. К. Каюмова

$$D = \frac{N_v - (N_{\text{п}} + 0,2 \cdot N_{\text{п}}) K_{\text{п}}}{K_y},$$

где D – норма азота, кг/га;

N_v – вынос азота планируемым урожаем (табл. 21), кг/га;

$N_{\text{п}}$ – содержание минеральных форм азота в почве до посева культуры, кг/га;

0,2 – коэффициент увеличения запасов минерального азота за счет минерализации гумуса в период вегетации озимых;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент использования азота из почвы (0,6 – 0,8);

K_y – коэффициент использования азота из минеральных удобрений (0,7).

На полях с плоскорезной обработкой мобилизация почвенного азота протекает медленно, поэтому расчетные дозы азота увеличивают на 15 – 20 %.

При размещении озимой пшеницы по пару или после многолетних бобовых трав азотные удобрения в основной прием не вносят. Рассчитанные нормы азота применяют в виде подкормок в фазу кущения. Следует иметь в виду, что дозы азотных подкормок должны быть в пределах N 30 – 60.

Таблица 21

Вынос питательных веществ 1 т основной продукции
с учетом побочной, кг

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	25,6	9,2	15,7
Озимая рожь	26,3	10,5	23,8
Яровая пшеница	31,7	10,3	19,0
Ячмень	23,6	10,0	19,2
Овес	28,8	10,7	28,4
Гречиха	44,4	17,6	66,6
Горох	44,4	13,9	28,0
Соя	77 – 100	17 – 40	32 – 40
Подсолнечник	41,3	18,7	99,2
Рапс зерно	49,0	23,0	30,0
Картофель	5,7	1,8	7,5
Капуста	3,11	0,93	3,45
Огурцы	3,22	1,53	4,32
Томаты	2,92	0,85	3,85
Морковь	2,85	1,28	4,36
Лук репка	1,57	1,20	2,35
Кормовая свекла	4,43	1,29	5,89
Кукуруза на силос	3,40	1,17	3,45
Однолетние травы (сено бобово-злаковое)	22,9	5,8	20,9
Однолетние травы злаковые (сено)	14,5	4,1	17,7
Однолетние травы бобовые (сено)	33,5	4,9	11,4
Однолетние травы в целом (сено)	21,0	6,4	19,2
Многолетние травы (сено):			
злаковые	14,4	4,7	19,9
бобово-злаковые	19,6	5,0	19,4
люцерна	28,9	5,4	21,2
клевер	15,9 – 19,8	4,8 – 5,7	15,6 – 16,9
в целом	24,9	5,4	20,4
Многолетние травы на зеленый корм	3,7	1,5	3,9
Рапс на зеленую массу	35 – 55	10 – 20	60 – 75

После непаровых предшественников под основную обработку рекомендуется вносить не менее 1/2 общей нормы азотных удобрений. Оставшийся азот дают в виде подкормок в фазу кущения. Необходимость ее проведения и дозу внесения целесообразно уточнить на основе почвенной диагностики, проведенной в осенний период при опускании температуры воздуха ниже +10 °С.

Для получения высококачественного зерна озимой пшеницы при размещении ее по чистому пару или бобовым предшественникам необходимо запланировать некорневую подкормку мочевиной в период колошение-налив зерна. Необходимость проведения некорневой подкормки устанавливаются на основании результатов тканевой диагностики с корректировкой доз внесения азота по данным листовой диагностики.

Нормы фосфорных и калийных удобрений рассчитывают с использованием нормативов затрат их на единицу продукции с корректировкой доз в зависимости от содержания фосфора и калия в почве.

Расчет ведут по формуле

$$D = U_{\text{п}} N_3 K,$$

где D – норма внесения фосфорных или калийных удобрений, кг/га д.в;

$U_{\text{п}}$ – планируемая урожайность, т/га;

N_3 – норматив затрат фосфорных или калийных удобрений для получения 1 т зерна (см. табл. 21);

K – поправочный коэффициент к дозам фосфорных или калийных удобрений в зависимости от содержания этих элементов питания в почве (см. табл. 18).

3.6.5. Расчет норм удобрений на планируемую урожайность методом элементарного баланса

Норму удобрений этим методом рассчитывают под одну из пропашных или яровых зерновых культур севооборота. Для проведения расчета данным методом необходимо иметь следующие данные: вынос элементов питания 1 т основной продукции с учетом побочной, содержание доступных форм фосфора и калия в почве и коэффициенты усвоения питательных веществ из почвы, органических и минеральных удобрений. Справочные материалы следует использовать применительно к зоне расположения хозяйства. Вынос питательных веществ и коэффициенты их использования из почвы и удобрений представлены в табл. 21, 22, 23. Запасы элементов питания в пахотном слое почвы определяют по формуле

$$П = n \cdot d \cdot h \cdot 0,1,$$

где $П$ – запасы элементов питания в пахотном слое почвы, кг/га;

n – содержание питательных веществ в почве, мг/кг;

d – объемная масса почвы, г/см³;

h – глубина пахотного слоя, см.

Таблица 22

**Коэффициенты использования питательных веществ
из почвы и минеральных удобрений, %**

Культура	Коэффициент использования питательных веществ из почвы		Коэффициент использования питательных веществ из удобрений		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	7,0	8,8	27,3	10,2	20,6
Озимая рожь	12,0	22,0	22,7	9,8	26,8
Яровая пшеница	8,2	11,3	36,4	10,8	24,3
Ячмень	10,3	13,8	28,6	13,4	25,2
Просо	6,5	18,1	23,3	7,3	28,6
Гречиха	13,6	36,9	35,9	15,3	63,0
Горох	4,4	14,0	–	7,1	48,5
Конопля	30,7	32,3	37,9	20,8	26,9
Кормовая свекла	10,0	33,1	38,7	11,4	54,0
Подсолнечник	7,1	10,8	27,5	8,7	100
Картофель	8,8	27,2	36,7	9,5	51,8
Кукуруза на силос	15,5	34,2	25,9	9,5	30,0
Однолетние травы в целом (сено)	12,3	27,6	40,0	14,2	52,5
Многолетние травы в целом (сено)	8,9	25,0	–	15,8	59,7

Таблица 23

**Коэффициенты использования питательных веществ
растениями из органических удобрений**

Год действия	Коэффициент использования, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Низкие и средние нормы удобрений		
1-й	20 – 25	25 – 30	50 – 60
2-й	20	10 – 15	10 – 15
3-й	10	5	–
В целом за ротацию	50 – 55	40 – 50	60 – 75
	Повышенные и высокие нормы удобрений		
1-й	15 – 20	15 – 25	40 – 50
2-й	15	10	10
3-й	10	5	–
В целом за ротацию	40 – 45	30 – 40	50 – 60

Пример расчета норм удобрений балансовым методом для корневой свеклы приведен в табл. 24.

Таблица 24

Расчет норм удобрений на планируемую урожайность свеклы балансовым методом, кг/га

Показатели расчета норм	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ на 1 т основной продукции, кг	4,43	1,29	5,89
Вынос питательных веществ с 1 га планируемым урожаем, кг	177,2	51,6	235,6
Содержание подвижных питательных веществ в пахотном слое почвы, мг/кг	–	92	131
Запасы подвижных питательных веществ в пахотном слое 1 га почвы, кг/га	–	303,6	432,3
Коэффициент использования питательных веществ растениями из почвы, %	–	10	33,1
Количество питательных веществ, поглощенных растениями из почвы с 1 га, кг	104,5	30,4	143,1
Будет внесено с 40 т/га органических удобрений, кг	200	100	240
Коэффициент использования питательных веществ растениями из органических удобрений на 2-й год их действия, %	20	10	10
Будет усвоено питательных веществ растениями из органических удобрений, кг	40	10	24
Требуется внести с минеральными удобрениями, кг	32,7	11,2	68,5
Коэффициент использования питательных веществ растениями из минеральных удобрений, %	38,7	11,4	54,0
Необходимо внести питательных элементов с минеральными удобрениями с учетом коэффициента их использования, кг	85	100	130

Планируемая урожайность – 40 т/га. Содержание усвояемых форм фосфора и калия соответственно 92 и 131 мг/кг, почва – дерново-подзолистая. Под предшественник (озимая пшеница) было внесено 40 т/га навоза.

Количество азота, поглощенного растениями из почвы, рассчитываем на основе закона минимума. При коэффициенте использова-

ния из почвы 10 % усвояемых форм фосфора и 33,1 % калия растения из почвенных запасов усвоят соответственно 30,4 и 143,1 кг/га этих элементов.

1. Определяем возможную урожайность свеклы за счет почвенных запасов фосфора:

1 т корнеплодов потребляет 1,29 кг P_2O_5 .

За счет 30,4 кг P_2O_5 можно получить X урожая

$$X_1 = \frac{30,4 \text{ кг} \cdot 1 \text{ т}}{1,29 \text{ кг}} = 23,6 \text{ т/га.}$$

2. Определяем возможную урожайность свеклы за счет почвенных запасов калия

1 т – 5,89 кг K_2O ;

X_2 т – 143,1 кг K_2O

$$X_2 = \frac{143,1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ т}}{5,89 \text{ кг}} = 24,4 \text{ т/га.}$$

3. По закону минимума за счет питательных веществ почвы продуктивность свеклы на данном поле составит 23,6 т/га, так как в минимуме находится фосфор. Определяем количество азота в почве, необходимого для формирования урожая, и полученные данные записываем в табл. 25.

Таблица 25

Пример расчета годовой потребности удобрений в севообороте

Культура севооборота	Площадь, га	Приемы внесения	Органические удобрения		Минеральные удобрения					
			т/га	всего, т	N_{aa} (35 %)		P_{dc} (45 %)		K_x (60 %)	
					кг/га д.в	ц физич. массы	кг/га д.в	ц физич. массы	кг/га д.в	ц физич. массы
Пар чистый	100	Основное	40	4000			60	133	60	100
		Рядковое								
		Подкормка								
Озимая пшеница	100	Основное								
		Рядковое								
		Подкормка			30	86				
Кормовая свекла	100	Основное								
		Рядковое			10	29			10	17
		Подкормка								
и т. д.										
<i>Итого</i>				4000		115		133		117

1 т – 4,43 кг N;

23,6 т – X_3

$$X_3 = \frac{23,6 \text{ т} \cdot 4,43 \text{ кг}}{1 \text{ т}} = 104,5 \text{ кг/га.}$$

Так как под озимую пшеницу в нашем примере вносили 40 т/га навоза, то кормовая свекла будет использовать его последствие. С 40 т/га навоза в почву поступит 200 кг N ($40 \text{ т} \cdot 5 \text{ кг N}$), 100 кг P_2O_5 ($40 \text{ т} \cdot 2,5 \text{ кг } P_2O_5$) и 240 кг K_2O ($40 \text{ т} \cdot 6 \text{ кг } K_2O$). Учитывая коэффициенты использования элементов питания из навоза на 2-й год его действия, находим, что из навоза в растения поступит 40 кг N, 10 кг P_2O_5 и 24 кг K_2O .

По разности между выносом питательных веществ урожаем и возможным их использованием из почвы и органических удобрений определяем количество питательных веществ, которое требуется внести с минеральными удобрениями:

– азот $177,2 - 104,5 - 40 = 32,7 \text{ кг}$;

– фосфор $51,6 - 30,4 - 10 = 11,2 \text{ кг}$;

– калий $235,6 - 143,1 - 24 = 68,5 \text{ кг}$.

С учетом коэффициентов использования питательных веществ из минеральных удобрений (см. табл. 22) необходимо внести питательных элементов:

азота 32,7 кг – 38,7 %

$X_1 - 100 \%$

$$X_1 = \frac{32,7 \cdot 100}{38,7} = 84,5 \approx 85 \text{ кг};$$

фосфора 11,2 кг – 11,4 %

$X_2 - 100 \%$

$$X_2 = \frac{11,2 \cdot 100}{11,4} = 98,2 \approx 100 \text{ кг};$$

калия 68,5 кг – 54 %

$X_3 - 100 \%$

$$X_3 = \frac{68,5 \cdot 100}{54} = 126,9 \approx 130 \text{ кг.}$$

3.6.6. Разработка системы и плана применения удобрений в севообороте на основе прямого использования результатов полевых опытов

Основным методом определения норм удобрений является полевой опыт. Обобщая данные полевых опытов с эмпирическими дозами удобрений, научно-исследовательскими учреждениями и агрохимической службой разработаны рекомендации по применению

удобрений под различные сельскохозяйственные культуры на основных типах и разновидностях почв при средних агротехнических фонах для всех почвенно-климатических зон страны.

В конкретных условиях эти нормы необходимо корректировать в зависимости от агрохимических свойств почвы, гранулометрического состава, характера увлажнения и т. д. Дозы азотных удобрений уточняют в зависимости от содержания доступных фосфатов.

Поправочные коэффициенты к оптимальным нормам удобрений в нашей зоне приведены в табл. 18. Для определения уточненной нормы удобрений оптимальную рекомендуемую норму умножают на поправочный коэффициент и округляют до десятков килограммов.

Данный метод выбора норм удобрений в основном используется при разработке системы и плана внесения удобрений в полях севооборота. Система удобрения культур в севообороте – это план размещения удобрений между культурами севооборота с учетом их видов, форм, приемов внесения и наиболее эффективных доз под каждую культуру, составленный на ротацию севооборота.

Рационально построенная система удобрения основана на учете почвенно-климатических условий, биологических особенностей питания растений, свойств и взаимодействия удобрений с почвой, приемов и способов их внесения, а также ресурсов удобрений в хозяйстве.

При разработке системы применения удобрений необходимо соблюдать следующие основные принципы:

1. Полное использование всех видов местных удобрений и биологических источников азота – культуры бобовых трав. Нормы внесения органических удобрений должны обеспечить бездефицитный баланс гумуса и определены в курсовой работе на основе баланса гумуса.

2. В первую очередь удобрения должны получать основные культуры севооборота (в зависимости от его специализации).

3. Основная часть удобрений (80 – 85 %) планируется для внесения в основной прием. Оставшуюся часть удобрений вносят в фосфорные туки при посеве в рядки и в подкормку озимых, кормовых культур – азотные.

После составления плана внесения удобрений по полям севооборота рассчитывают годовую норму внесения по каждому полю и в це-

лом по севообороту путем суммирования количества удобрений по всем полям. Удобренность 1 га севооборотной площади определяют делением общего количества удобрений, внесенных за ротацию, на количество полей. При определении соотношения внесенных элементов питания за единицу принимают количество внесенного азота на 1 га пашни.

В этом разделе курсовой работы необходимо обосновать разработанную систему применения удобрений (нормы, приемы, сроки, способы и формы вносимых удобрений), придерживаясь следующего плана:

1. Особенности питания культуры (вынос N, P₂O₅ и K₂O урожаем, поступление питательных веществ по периодам роста, критические периоды в питании культуры).

2. Рекомендуемые нормы удобрений под культуру и распределение их по приемам внесения с указанием лучших форм удобрений на данном типе почв.

3. Подробное описание удобрения озимой пшеницы, возделываемой по интенсивной технологии (диагностики почвенная и растительная, их назначение, сроки, способы внесения удобрений).

На основе разработанной системы применения удобрений, наличия удобрений в хозяйстве и плодородия каждого поля составляют годовой план внесения удобрений в поля севооборота (см. табл. 25).

Основное удобрение корректируют с учетом обеспеченности почв фосфором и калием. При недостатке удобрений в хозяйстве рассчитанные нормы вносят преимущественно под культуры, социально и экономически значимые для хозяйства. С отдельных культур нормы основного удобрения снимают полностью, оставляя припосевное внесение и подкормки.

Нормы внесения органических удобрений определяют исходя из наличия их в хозяйстве с учетом использования соломы непосредственно на удобрение. При составлении годового плана применения удобрений следует изучить все разделы курсовой работы, выполненные ранее (пп. 3.5; 3.6.1; 3.6.2; 3.6.3; 3.6.4).

3.6.7. Расчет годовой потребности удобрений для севооборота

Определение общей потребности в удобрениях по видам и формам позволяет хозяйству обоснованно выделять средства на приобретение удобрений, сделать заказ на проектирование и строительство склада для их хранения. При выполнении курсовой работы годовую потребность в удобрениях следует рассчитать на основании системы применения удобрений в севообороте по формуле

$$D_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{д.в}} \cdot S}{C},$$

где $D_{\text{ф}}$ – физическая масса удобрений, ц/га;

$D_{\text{д.в}}$ – доза внесения, кг/га д.в;

C – содержание действующего вещества в удобрении, %;

S – площадь поля, га.

Результаты расчета занести в табл. 25. При выборе форм вносимых удобрений следует учитывать биологические особенности питания культур севооборота.

Пример расчета годовой потребности удобрений для севооборота представлен в табл. 25. При заполнении таблицы можно использовать условные обозначения форм удобрений:

Азотные

$N_{\text{аа}}$ – аммонийная селитра

$N_{\text{с}}$ – натриевая селитра

$N_{\text{а}}$ – сульфат аммония

$N_{\text{м}}$ – мочевина

$N_{\text{х}}$ – хлористый аммоний

Фосфорные

$P_{\text{с}}$ – суперфосфат простой порошковидный

$P_{\text{дс}}$ – двойной суперфосфат

$P_{\text{ст}}$ – суперфосфат простой гранулированный

$P_{\text{ф}}$ – фосфоритная мука

Калийные

$K_{\text{х}}$ – хлорид калия

$K_{\text{к}}$ – калийная соль

K – сульфат калия

Комплексные

ДАФ – диаммофос

АФ – аммофос

НАФК – нитроаммофоска (азофоска)

НФК – нитрофоска

КАФК – карбоаммофоска

3.7. Расчет ожидаемого баланса питательных веществ в севообороте и прогноз возможного изменения почвенного плодородия по завершении ротации севооборота

Баланс питательных веществ – это эколого-агрономический показатель, отражающий круговорот питательных веществ в земледелии.

Определение баланса питательных веществ в севообороте позволяет, прежде всего, оценить влияние удобрений на плодородие почвы. Кроме того, показатели баланса служат основой качества контроля (сертификации) получаемой сельскохозяйственной продукции и загрязнения окружающей среды при положительных его величинах. Баланс элементов питания складывается из приходных и расходных статей.

Приходные статьи баланса, кг д.в на 1 га

1. Поступление питательных веществ с минеральными удобрениями. В приходную часть включается всё количество питательных веществ, выраженное в килограммах N, P₂O₅, K₂O на 1 га и внесенное со всеми видами минеральных удобрений.

2. Поступление питательных веществ с органическими удобрениями. Принято считать, что среднее содержание питательных веществ в подстилочном навозе составляет: N – 0,5, P₂O₅ – 0,25 и K₂O – 0,6 %.

3. Поступление питательных веществ с семенами. При расчетах учитывают нормы высева (табл. 26) и содержание азота, фосфора и калия в посевном и посадочном материале (табл. 27).

Таблица 26

Нормы высева семян, ц/га

Культура	Тажная зона
Озимые зерновые (рожь, пшеница)	1,7 – 2,0
Яровые зерновые (пшеница, ячмень, овес, зернобобовые)	2,0 – 2,5
Картофель, т/га	2,5 – 3,0
Кукуруза на силос и зеленый корм	0,6 – 0,8
Травы однолетние	1,8
Кормовая свекла	0,08
Подсолнечник	0,08
Просо	0,2
Гречиха	0,8

Таблица 27

Содержание элементов питания в семенах сельскохозяйственных культур

Культура	Содержание, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	2,50	0,85	0,50
Озимая рожь	2,00	0,85	0,60
Ячмень	2,10	0,85	0,55
Овес	2,10	0,85	0,50
Яровая пшеница	3,40	0,85	0,60
Горох	4,50	1,00	1,25
Просо	1,85	0,65	0,50
Гречиха	1,80	0,57	0,27
Подсолнечник	2,61	1,39	0,96
Кукуруза	1,80	0,57	0,37
Кормовая свекла (корнеплоды)	0,24	0,08	0,25
Картофель (клубни)	0,32	0,14	0,60

4. Несимбиотическая азотфиксация. Поглощение атмосферного азота и превращение его в органическую форму осуществляется свободно живущими почвенными микроорганизмами. В зависимости от почвенно-климатических условий за счет несимбиотической

фиксации синтезируется от 3 до 10 кг N. Для Верхневолжья в среднем 8 кг/га.

5. Симбиотическая азотфиксация (фиксация атмосферного азота клубеньковыми бактериями бобовых культур). Азотфиксация у различных бобовых культур неодинакова (табл. 28).

Таблица 28

Симбиотическая азотфиксация

Культура	Фиксация азота из воздуха, кг N на 1 кг выноса азота урожаем
Зерновые бобовые	0,8
Клевер (сено)	1,4
Бобово-злаковые смеси (сено)	0,7
Однолетние травы (смеси гороха, вики с овсом и другими культурами) на зеленую массу	0,5

Примечание. При низких урожаях (до 10 ц/га зернобобовых, до 20 ц/га сена бобово-злаковых и менее 100 ц/га зеленой массы однолетних трав) фиксация азота в 1,5 раза выше.

6. Поступление азота с атмосферными осадками. Эта величина для климатических условий Верхневолжья равна в среднем 6 кг/га.

Расходные статьи баланса, кг д.в на 1 га

1. Вынос питательных веществ урожаем сельскохозяйственных культур. Рассчитывается как произведение показателей выноса одной тонной основной продукции (см. табл. 20) на планируемую урожайность культур севооборота.

2. Потери азота за счет денитрификации (газообразные потери). Потери от денитрификации происходят в весенний и осенний периоды, когда почва переувлажнена, а температура способствует развитию микробиологических и химических процессов, приводящих к восстановлению окислов азота до молекулярной формы. Величина потерь азота за счет денитрификации в среднем составляет от 10 до 20 % от дозы внесенного азота с минеральными удобрениями и 5 – 10 % азота, поступившего с органическими удобрениями.

Кроме того, нужно учитывать, что газообразные потери азота могут происходить и за счет азота почвы. Средняя величина этих потерь 6 – 12 кг/га.

3. Потери питательных веществ за счет эрозии. Средние потери элементов питания на эродированных почвах приведены в табл. 29.

Таблица 29

Потери элементов питания на эродированных почвах, кг/га

Элемент	Степень эродированности почв		
	Слабоэродированные	Среднеэродированные	Сильноэродированные
N	18	25	30
P ₂ O ₅	5	7,5	10
K ₂ O	12	20	24

4. Потери питательных веществ за счет вымывания (инфильтрации с атмосферными осадками). Величина потерь питательных веществ за счет вымывания изменяется в очень широких пределах и зависит от почвенно-климатических условий и типа водного режима (табл. 30).

Таблица 30

Потери питательных веществ при вымывании, кг/га

Зона	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1	2	1	2	1	2
Нечерноземная	10 – 12	20 – 25	0,4 – 0,5	0,8 – 1,0	4,5 – 5,0	10 – 12
Лесостепная	5 – 6	10 – 12	0,2 – 0,3	0,4 – 0,5	2 – 3	4 – 5

Примечание. 1 – для почв среднего и тяжелого гранулометрического состава; 2 – для почв легкого гранулометрического состава.

Оценка показателей баланса питательных веществ

Подсчитав приходные и расходные статьи, определяют показатель интенсивности баланса по каждому элементу, который представляет собой отношение суммарной величины прироста к величине суммарного расходования, выраженное в процентах. Интенсивность может быть меньше 100 % (дефицитный баланс), равна 100 % (бездефицитный баланс) и более 100 % (положительный баланс).

Уровень интенсивности баланса азота связан в первую очередь с продуктивностью севооборота и вкладом биологического азота. В полевых севооборотах на дерново-подзолистых почвах оптимальная интенсивность баланса азота, обеспечивающая планируемую продуктивность и экономическую безопасность агроэкосистем, составляет 115 – 120 % (с обязательным участием бобовых культур или их травосмесей с преобладанием бобового компонента), на черноземных почвах – 90 – 100 %.

Интенсивность баланса фосфора и калия зависит от планируемой скорости увеличения содержания подвижных питательных элементов и их исходного наличия в почве. В табл. 31 приведены показатели интенсивности баланса фосфора и калия, при которых увеличение содержания питательных элементов в почве сопровождается повышением продуктивности севооборота или ее стабилизацией.

Таблица 31

Примерные нормативы баланса питательных веществ
в севообороте

Содержание питательных элементов в почве	Интенсивность баланса, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Низкое и очень низкое	100	140	50
Среднее	100	100	40
Повышенное	100	90	30
Высокое	90	70	–
Очень высокое	90	50	–

Более высокие показатели баланса фосфора и калия ускоряют темпы изменения плодородия почв. Они оправдывают себя только при высокой культуре земледелия в хозяйстве, обеспечивающей плановую продуктивность севооборота.

Баланс фосфора и калия в почве согласуется с изменением доступных их соединений в почве под действием фосфорно-калийных удобрений. При положительном балансе этих элементов питания можно сделать прогноз изменения содержания фосфора и калия в почвах севооборота.

Прогнозируемое содержание усвояемых форм фосфора и калия определяют по выражению

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{исх}} + \frac{(P_{\text{мин}} + P_{\text{орг}} - B)}{0,1 \cdot N_p} T,$$

где $C_{\text{пр}}$ – прогнозируемое содержание питательного вещества, мг на 1 кг почвы;

$C_{\text{исх}}$ – исходное содержание питательного вещества, мг на 1 кг почвы;

$P_{\text{мин}}$ – поступление питательного вещества с минеральными удобрениями, кг/га;

$P_{\text{орг}}$ – поступление питательного вещества с органическими удобрениями, кг/га;

B – вынос питательного вещества урожаем, кг/га;

N_p – норма расхода фосфора или калия, внесенного сверх выноса на увеличение его содержания на 10 мг на 1 кг почвы;

0,1 – коэффициент перехода от 10 к 1 мг;

T – период, за который делается прогноз, лет.

Оценку прогнозируемого содержания доступных (усвояемых) форм фосфора и калия следует делать исходя из их оптимального уровня в черноземах: P_2O_5 – 150 – 200 мг/кг (4 – 5-й класс) и K_2O – 120 – 180 мг/кг (5 – 6-й класс). Составление баланса элементов питания позволяет контролировать состояние окружающей среды.

3.8. Расчет энергетической эффективности применения удобрений в севообороте

Завершающим этапом в оценке действия удобрений будет расчет их экономической и энергетической эффективности. Целесообразность энергетического подхода в оценке эффективности сельскохозяйственного производства приобретает особую актуальность в настоящее время, когда в период становления рыночных отношений применяемые стоимостные показатели из-за крайней нестабильности цен теряют прежний смысл.

Энергетическая эффективность не зависит от цен и представляет собой отношение энергии, накопленной в прибавке урожая, к энергозатратам на внесение удобрений, включая затраты на их производство:

$$R = \frac{E_{\text{п}}}{E_3},$$

где R – энергетическая эффективность, или биоэнергетический КПД применения удобрений;

$E_{\text{п}}$ – энергия, накопленная в прибавке урожая основной продукции с учетом побочной, МДж;

E_3 – энергозатраты на применение удобрений, МДж.

Затраты на удобрения E_3 определяют как сумму энергозатрат на применение всех видов удобрений: азотных, фосфорных, калийных, комплексных, навоза, мелиорантов, применяемых в системе севооборота:

$$E_3 = E_N + E_P + E_K + E_{\text{компл}} + E_{\text{Н}} + E_{\text{др.}}$$

Затраты на каждый вид удобрения рассчитывают однотипно на основе данных табл. 32 по формуле

$$E_N = N \cdot E_{1N},$$

где N – норма внесения азотных удобрений, кг д.в на га севооборотной площади;

E_{1N} – энергозатраты на применение 1 кг д.в азотных удобрений.

Таблица 32

Совокупные затраты на применение удобрений, МДж/кг д.в

Удобрения	Энергозатраты
Азотные	86,6
Фосфорные	12,6
Калийные	8,3
Комплексные	51,5
Навоз (80 % влаги)	0,42
Компосты (60 % влаги)	1,7
Известковые	3,8
Местные минеральные	2,9

При расчете энергозатрат на органические удобрения их физическую массу предварительно переводят в общее количество содержащихся в них питательных веществ ($N + P_2O_5 + K_2O$), кг/га.

При определении прибавки урожая основной продукции $У_{п}$ культур севооборота необходимо использовать нормативы прибавок урожая сельскохозяйственных культур, приведенных в табл. 33.

Таблица 33

Нормативы прибавок урожая при оптимальных нормах удобрений

Культура	Килограмм на 1 кг питательных веществ минеральных удобрений	Килограмм на 1 т навоза в первый год действия	
		Без минеральных удобрений	С минеральными удобрениями
Озимая пшеница	4,8	12	9
Озимая рожь	4,0	10	8
Яровая пшеница	4,4	12	10
Ячмень	3,95	12	10
Овес	4,6	12	10
Кукуруза на зерно	4,0	20	12
Горох	3,3	–	–
Зернобобовые (вика с овсом)	5,6	–	–
Просо	3,0	–	–
Гречиха	3,2	–	–
Сахарная свекла	29,7	150	105
Кормовая свекла	67,7	–	–
Столовая свекла	55,2	–	–
Подсолнечник	2,35	–	–
Кориандр	1,2	–	–
Картофель	19,5	95	75
Овощные	38,7	–	–
Кукуруза на силос	25,8	120	90
Однолетние травы (сено)	7,4	–	–
Многолетние травы (сено)	10,1	–	–

Содержание энергии в 1 кг основной продукции E_y приведено в табл. 34. Количество энергии, накопленной в прибавке урожая, определяют по формуле $E_n = E_y \cdot U_n$, МДж/га.

Таблица 34

Содержание энергии в 1 кг урожая различных культур, МДж/кг

Культура	Содержание энергии	Культура	Содержание энергии
Пшеница:		Кормовая свекла	2,56
озимая	16,45	Подсолнечник:	
яровая мягкая	16,61	семена	17,83
» твердая	16,76	зеленая масса	4,20
Рожь	16,76	Соя	18,10
Ячмень	16,45	Картофель	3,66
Овес	16,17	Бахчевые	1,64
Просо	16,94	Овощные	1,44
Гречиха	16,67	Кормовые корнеплоды	4,10
Рис	15,99	Многолетние травы (сено)	3,78
Фасоль	17,78	Люцерна (сено)	5,46
Горох	17,69	Однолетние травы (сено)	3,28
Сорго (зерно)	15,77	Лугопастбищные травы (сено)	3,24
Кукуруза:		Зернофуражные культуры	
на зерно	15,14	на зеленый корм (в пересчете на сено)	4,62
на зеленый корм	4,10		

Энергетический КПД R определяют по вышеуказанной формуле. Целесообразно КПД рассчитать по каждой культуре и в целом по севообороту. В заключении по данному разделу необходимо сделать оценку действия удобрений с учетом данных агрохимической службы.

Биоэнергетический КПД применения удобрений по прибавке основной продукции составляет в целом по стране: у озимой пшеницы – 1,54; озимой ржи – 1,49; яровой пшеницы – 1,29; ячменя – 1,76; кукурузы на зерно – 1,87; кормовой свеклы – 1,95, а в среднем по культурам – 1,19.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каково значение удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур?
2. Что такое баланс элементов питания?
3. Как влияет применение удобрений на качество урожая?
4. Что такое макро-, мезо- и микроэлементы?
5. Каковы состав и концентрация почвенного раствора?
6. Перечислите элементы минерального питания и их содержание в растениях.
7. В чем заключается значение отдельных элементов в питании растений?
8. Объясните понятие выноса элементов питания растениями. Что такое биологический и хозяйственный вынос, вынос товарной и нетоварной частью урожая?
9. Приведите пример расчета выноса NPK, кг/га, с запланированным урожаем.
10. Какие основные типы питания растений и их значение вам известны?
11. Что такое корневое питание растений?
12. Что такое синергизм и антагонизм ионов?
13. В каких формах поступают в растения азот, фосфор, калий, кальций, магний и другие элементы питания?
14. Какова роль азота в жизни растений?
15. В чем особенности аммонийного и нитратного питания растений?
16. Назовите свойства минеральных удобрений.
17. Какие основные азотные удобрения вы можете перечислить?
18. Расскажите о применении азотных удобрений под отдельные культуры.
19. Какие основные фосфорные удобрения вы можете перечислить?
20. Какие сроки и способы внесения фосфорных удобрений следует соблюдать?
21. Перечислите основные калийные удобрения.
22. Каковы методы определения доз извести и способы ее внесения?

23. Определение норм органических удобрений на основе баланса гумуса в севообороте.

24. Расчет норм удобрений на планируемую урожайность методом элементарного баланса.

25. Перечислите цели и задачи системы удобрений.

26. Какие методы определения оптимальных доз удобрений можно назвать?

27. Как определить сроки, способы и дозы внесения удобрений?

28. В чем заключается разработка системы удобрений в полевом севообороте?

29. Расчет ожидаемого баланса питательных веществ в севообороте и прогноз возможного изменения почвенного плодородия по завершении ротации севооборота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение дисциплины «Система удобрений» позволяет студентам выработать следующие компетенции:

– иметь представление о принципиальных подходах и методах разработок оптимальных систем удобрения агроценозов в хозяйствах любых форм собственности;

– знать определения, свойства, методологические основы, структуру и классификацию систем и методов определения оптимальных доз, комбинаций и соотношений различных удобрений и мелиорантов, сроков и способов их применения под культурами агроценозов; методы агрономического, экономического и экологического обоснования принципов систем удобрения; обоснование технологий применения удобрений; этапы освоения различных систем удобрения;

– уметь проектировать общие схемы систем, годовые и календарные планы применения удобрений и мелиорантов агроценозов, составлять технологические схемы применения удобрений, контролировать и оценивать системы удобрения агроценозов на разных этапах разработки, освоения и реализации их в хозяйствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрономическая тетрадь. Возделывание зерновых культур и рапса по интенсивным технологиям / под общ. ред. Б. П. Мартынова. – М. : Россельхозиздат, 1987. – 232 с.
2. Агрохимия / под ред. Б. А. Ягодина. – М. : Колос, 2002. – 584 с. – ISBN 5-10-003588-9.
3. Артюшин, А. М. Краткий справочник по удобрениям / А. М. Артюшин, Л. М. Державин. – М. : Колос, 1984. – 208 с.
4. Ефимов, В. Н. Система удобрения / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, В. К. Царенко. – М. : Колос, 2002. – 320 с.
5. Индустриальная технология применения минеральных удобрений / сост. М. Н. Марченко. – М. : Россельхозиздат, 1987. – 239 с.
6. Методические указания по определению баланса питательных веществ: азота, фосфора, калия, гумуса, кальция / сост. В. Г. Сычев [и др.]. – М. : Изд-во ЦИНАО, 2000. – 40 с.
7. Минеев, В. Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В. Г. Минеев, Б. В. Дебрецени, Т. А. Мазур. – М. : Колос, 1993. – 415 с.
8. Органические удобрения : справочник / П. Д. Попов [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1988. – 207 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Коэффициенты водопотребления и соотношения основной и побочной продукции различных сельскохозяйственных культур

Культура	K_w , мм · га/ц	Соотношение основной к побочной продукции	Содержание воды в основной продукции, %
Озимая пшеница	400 – 450	1:1,5	14
Озимая рожь	350 – 400	1:2	14
Яровая пшеница	400	1:1,3	14
Ячмень	400	1:1,2	14
Овес	450	1:1,3	13
Просо	250 – 300	1:1,3	14
Гречиха	500 – 600	1:1,5	13
Горох	400 – 450	1:1,5	–
Кукуруза на силос	250 – 350	–	–
Кукуруза на зерно	250 – 325	1:1,23	15
Кормовая свекла	–	1:0,55	75
Подсолнечник	–	1:1	8
Картофель	375 – 475	1:1	78

Химический состав подстилочного навоза, %

Химический состав	Вид навоза			
	КРС	Свиной	Конский	Овчий
pH	8,1/7,9	7,9	7,9	7,9
C:N	19/6	13	21	17
Содержание при натуральной влажности, %:				
азота общего	0,54/0,60	0,84	0,59	0,86
азота аммиачного	0,07/0,08	0,15	0,09	0,14
P ₂ O ₅	0,28/0,30	0,58	0,26	0,47
K ₂ O	0,60/0,60	0,62	0,59	0,88
органического вещества	21,0/19,4	21,9	22,6	28,0
зола	14,0/ –	17,4	8,4	23,0
воды	65,0/66,5	60,7	69,0	49,0

Примечание. В числителе по КРС данные по стране, в знаменателе – по Верхневолжью.

Химический состав бесподстилочного навоза в зависимости от способов его удаления, %

Способ удаления навоза	Процент сухого вещества	Содержание в сыром веществе, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз КРС				
Бесподстилочный, удаленный механическим способом с выгрузкой наклонным транспортером	17,0	0,48	0,26	0,38
Самотечно-сплавной непрерывного действия и механическим способом при совместном сборе и хранении кала и мочи отстойно-лотковой (шиберная) системой	5,5	0,30	0,15	0,25
Бесподстилочный (жидкая фракция)	1,1	0,16	0,03	0,07
Свиной навоз				
Бесподстилочный: удаленный механическим способом с выгрузкой наклонным транспортером*	17,8	0,58	0,38	0,28
Самотечно-сплавной непрерывного действия	11,7	0,62	0,25	0,20
Гидросмыв	1,3	0,13	0,66	0,07

* Химический состав кала, так как моча при выгрузке экскрементов в прицеп теряется.

Химический состав птичьего помета, % на сырое вещество

Вид помета	Влажность, %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Куриный	75	1,5 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,4
Утиный	83	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,3	0,3 ± 0,1	1,0 ± 0,2
Гусиный	83	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Индюшинный	75	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1

Рекомендуемые дозы азота бесподстилочного навоза под сельскохозяйственные культуры, т/га

Почвы	Культура		
	Озимые зерновые	Картофель	Силосные, корнеплоды
Серые лесные:			
песчаные и супесчаные	140	160	200
суглинистые и глинистые	120	140	200

Рекомендуемые дозы подстилочного навоза в севообороте, т/га

Почвы	Содержание гумуса, %	Культура		Периодичность внесения, лет
		Озимые зерновые	Картофель, силосные, корнеплоды	
Серые лесные: песчаные и супесчаные	< 1,5	60	70	4
	1,5 – 2,5	50	60	
	2,5 – 3,0	50	50	
	> 3,0	40	50	
суглинистые и глинистые	< 2,0	60	70	5
	2,0 – 2,5	55	60	
	2,5 – 3,5	50	50	
	> 3,5	40	50	

Характеристика известковых и гипсосодержащих удобрений

Удобрение	Влажность, %	Состав, % на сухое вещество			Формула
		CaO+MgO	Общее содержание CaO+MgO в пересчете на CaCO ₃ или CaSO ₄	Примеси, %	
Известняковая мука: стандартная класса Б	До 4	42 – 56	85 – 100	0 – 15 (глина, песок)	CaCO ₃
пылевидная класса А	До 1,5	42 – 56	85 – 100	0 – 15 (глина, песок)	CaCO ₃
Молотый мел	До 30	До 56	До 100	0 – 10 (глина, песок)	CaCO ₃
Дефекат	До 30	–	До 60	N – 0,8 – 0,7 P ₂ O ₅ – 0,2 – 0,9 K ₂ O – 0,5 – 1,0 Орг. в-во – 15	CaCO ₃
Гипс сыромолотый	До 8	–	71 – 73	–	CaSO ₄ × × 2H ₂ O
Глиногипс	–	–	60 – 90	1 – 11 (глина)	CaSO ₄ × × 2H ₂ O
Фосфогипс	До 8	–	70 – 75	2 – 3 P ₂ O ₅	CaSO ₄ × × 2H ₂ O

Ассортимент минеральных удобрений, применяемых в зоне

Удобрение	Содержание действующего вещества, %
Азотные	
Аммиачная селитра	34 – 35
Мочевина (карбамид)	46
Безводный аммиак	82,3
Аммиачная вода	20,5
Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения (КАС)	28 – 32
Фосфорные	
Суперфосфат простой гранулированный	19 – 20
Двойной суперфосфат	43 – 49
Фосфоритная мука	20 – 29
Калийные	
Хлористый калий	57 – 60
Сульфат калия	46 – 50
40%-ная калийная соль	40
Комплексные	
Аммофос	N – 11 – 12; P ₂ O ₅ – 46 – 60
Диаммофос	N – 18 – 21; P ₂ O ₅ – 46 – 63
Калийная селитра	N – 13; K ₂ O – 46
Нитрофоска:	
азотно-сернокислая (марка В)	N – 12; P ₂ O ₅ – 12; K ₂ O – 12
азотно-сульфатная (марка Б)	N – 13; P ₂ O ₅ – 10; K ₂ O – 13
азотно-фосфорнокислотная (марка А)	N – 16; P ₂ O ₅ – 16; K ₂ O – 16
Нитроаммофоска (азофоска)	N – 17,5; P ₂ O ₅ – 17,5; K ₂ O – 17,5 (возможно другое соотношение)
Карбоаммофоска	N – 20; P ₂ O ₅ – 20; K ₂ O – 20
Карбоаммофос	N – 20 – 21; P ₂ O ₅ – 20 – 21

Учебное издание

КОРЧАГИН Алексей Анатольевич
МАЗИРОВ Михаил Арнольдович
КОМАРОВА Надежда Анатольевна

СИСТЕМА УДОБРЕНИЙ

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина

Технический редактор А. В. Родина

Корректор В. С. Теверовский

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 10.04.18.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 6,74. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.