

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

O.A. Ульянова

АГРОХИМИЯ И СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим советом
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования Красноярский государственный аграрный
университет» для внутривузовского использования в качестве учебного
пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки
35.03.03 «Агрохимия и почвоведение»*

Электронное издание

Красноярск 2025

УДК 631.8
ББК 40.4я73
У 51

Рецензенты:

В.И. Титова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующая кафедрой «Агрохимия и агроэкология»
ФГБОУ ВО «Нижегородский агротехнологический
университет имени Л.Я. Флорентьева»

Ю.В. Бабиченко, кандидат биологических наук, ведущий
специалист-эксперт отдела государственного земельного надзора
управления Россельхознадзора по Красноярскому краю

у51 **Ульянова, О.А.**

Агрохимия и система удобрения [Электронный ресурс]:
учебное пособие / О.А. Ульянова; Красноярский государственный аг-
арный университет. – Красноярск, 2025. – 136 с.

Представлены основные теоретические вопросы и методические реко-
мендации к выполнению лабораторных занятий по основным разделам дисцип-
лины «Агрохимия и система удобрения»: химическая мелиорация почв, пище-
вой режим почв, растительная диагностика, характеристика и качественный
анализ удобрений, агрохимическое обследование почв, система удобрения.
В конце каждого раздела приведены задачи и упражнения, тестовые задания,
вопросы к коллоквиумам.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 35.03.03
«Агрохимия и почвоведение».

УДК 631.8
ББК 40.4я73

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ	7
1.1. Техника безопасности при работе в лаборатории	7
1.2. Подготовка почвенных образцов к анализу	9
2. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ	13
2.1. Гипсование солонцовых почв	13
2.2. Известкование кислых почв.....	18
2.3. Определение возможности фосфоритования почв.....	30
3. ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВ	34
3.1. Оценка обеспеченности почв азотом и потребности растений в азотных удобрениях	34
3.2. Методы снижения содержания нитратов в растениеводческой продукции	40
3.3. Оценка обеспеченности почв фосфором и потребности растений в фосфорных удобрениях.....	43
3.4. Оценка обеспеченности почв калием и потребности растений в калийных удобрениях	47
4. АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ	54
5. РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА	57
5.1. Методика проведения растительной диагностики	57
5.2. Метод листовой диагностики	58
5.3. Тканевая экспресс-диагностика.....	60
5.3.1. Определение нитратного азота	61
5.3.2. Определение фосфора	63
5.3.3. Определение калия.....	64
6. ХАРАКТЕРИСТИКА И КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УДОБРЕНИЙ	67
6.1. Распознавание минеральных удобрений по качественным реакциям	67
6.2. Смешанные удобрения	69
6.3. Характеристика органических удобрений	72
7. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ. СОСТАВЛЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ КАРТОГРАММ	89
8. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ	95
8.1. Баланс элементов питания и гумуса	96

8.1.1. Баланс элементов питания в севообороте и потребность в минеральных удобрениях	96
8.1.2. Баланс гумуса в севообороте и потребность в органических удобрениях	99
8.2. Способы и сроки внесения удобрений в севообороте	103
9. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	105
9.1. Технологические схемы применения минеральных удобрений.....	105
9.2. Технологические схемы применения органических удобрений.....	106
9.3. Контроль и оценка качества работы машин при внесении минеральных и органических удобрений.....	107
9.4. Техника безопасности при работе с удобрениями	110
10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	111
10.1. Агрономическая эффективность удобрений.....	111
10.2. Экономическая эффективность удобрений.....	111
10.3. Энергетическая эффективность удобрений	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
ЛИТЕРАТУРА	120
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	124

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЕКО – емкость катионного обмена
S – сумма обменных оснований
V – степень насыщенности почв основаниями
ППК – почвенный поглощающий комплекс
Нг – гидролитическая кислотность
АТФ – аденоинтрифосфат
АДФ – аденоиндинифосфат
рН – реакция почвенного раствора
 N_{AA} – аммонийная селитра
 N_A – сульфат аммония
 N_m – мочевина
Рс – суперфосфат
Рсд – двойной суперфосфат
АФ – аммофос
Кх – калий хлористый
Кс – сульфат калия
Киу – коэффициент использования элемента из удобрения
з.е. – зерновые единицы
д.в. – действующее вещество

ВВЕДЕНИЕ

Агрохимия играет важную роль в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Получение максимального экономически выгодного урожая растений базируется на комплексном применении удобрений и мелиорантов, использовании лучших районированных сортов, оптимизации агрофизических и агрохимических свойств почв, своевременном и качественном выполнении всех агротехнических работ.

Агрохимия как наука развивается очень быстро. Это определяется необходимостью постоянно увеличивать продуктивность сельскохозяйственных культур, улучшать технологии их возделывания и соблюдать требования охраны окружающей среды.

Представленные в учебном пособии теоретические вопросы и методические рекомендации к выполнению лабораторных работ позволяют сформировать у обучающихся студентов следующие компетенции:

- готовность участвовать в проведении почвенных, агрохимических и агроэкологических исследованиях (пк-1);
- способность к составлению почвенных, агроэкологических и агрохимических карт и картограмм (пк-4);
- способность к обоснованию рационального применения технологических приемов сохранения, повышения и воспроизводства плодородия почв (пк-6);
- способность к проведению растительной и почвенной диагностики питания растений, разработке и реализации мер по оптимизации минерального питания (пк-7);
- способность к анализу материалов почвенного, агрохимического и экологического состояния агроландшафтов (пк-9);
- способность к проведению химической, водной и агролесомелиорации (пк-10).

1. ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ

1.1. Техника безопасности при работе в лаборатории

1. В лаборатории вся работа с ядовитыми и вредными веществами должна проводиться в вытяжном шкафу. Необходимо следить за исправностью вентиляции.

2. В лаборатории в надлежащих местах должны быть огнетушители, ящики с песком.

3. Студенты, работающие в лаборатории, должны быть обеспечены необходимой одеждой: халатами, резиновыми перчатками.

В лаборатории должно быть мыло и полотенце.

4. Лаборатория должна быть оснащена аптечкой со средствами от ожогов и отравлений, перевязочными материалами.

5. Все электроприборы, питающиеся от сети, должны быть заземлены. Перед включением их необходимо убедиться в исправности их заземления, а также тщательно осмотреть шнур: проверить исправность изоляции, устраниТЬ резкие перегибы, захлесты, перекручивания; в местах перегибов и захлестов проверить, нет ли разрыва провода под изоляцией. Не следует включать электроприборы мокрыми руками.

6. При работе с огнеопасными веществами (эфир, лигроин и др.) не следует ставить сосуды с этими веществами близко к пламени и нагревательным приборам. При возникновении пожара в первую очередь нужно вынести эти сосуды из лаборатории. Если легковоспламеняющаяся жидкость разлита, ее надо засыпать песком. Песок затем сгребают деревянной лопаткой. Нельзя сгребать песок веником, щеткой: при трении они электризуются, что может привести к взрыву. Органические вещества, нерастворяющиеся в воде, тушить водой нельзя – поверхность их при этом увеличивается, что только усиливает пожар. Кроме песка можно пользоваться листами асбеста, которыми покрывают пламя.

7. При работе с ядовитыми веществами необходимо знать:

– нельзя ртом набирать в пипетку ядовитые и вредные жидкости, для этого пользуются пипетками с резиновой грушей;

– при работе с сухими реактивами нельзя брать комочки гольми руками, для этого служат щипцы, пинцеты, шпатели;

– при разбавлении концентрированной кислоты нельзя прибавлять воду к концентрированной кислоте. Вследствие выделения

большого количества тепла первые порции воды мгновенно превращаются в пар, что вызывает сильное разбрызгивание кислоты. Сначала в колбу наливают дистиллированную воду, в объеме несколько меньшем положенного, а затем порциями, при помешивании, добавляют кислоту;

- нельзяносить и принимать пищу в лаборатории.

8. При попадании кислоты на кожу или слизистую оболочку необходимо немедленно обработать пораженное место раствором соды, затем промыть кожу с мылом и тщательно смыть водой. В случае попадания щелочи используют слабый раствор уксусной кислоты.

9. При разливе концентрированной кислоты или щелочи необходимо немедленно засыпать место разлива песком и нейтрализовать реактив. Только после нейтрализации и уборки песка можно промыть место разлива водой [Демьяненко, Формова, 2004].

Несоблюдение правил техники безопасности в химической лаборатории может привести к несчастным случаям! Возможные несчастные случаи в химической лаборатории и первая помощь, которая может быть оказана, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Первая помощь при несчастных случаях
в химической лаборатории**

Возможные несчастные случаи	Первая помощь
1	2
Порезы стеклом	Удалить осколки стекла, вытереть рану чистой сухой марлей или ватой, присыпать порошком белого стрептоцида и завязать
Ранения с сильным кровотечением	Остановить кровь перевязкой выше места ранения (толстостенной каучуковой трубкой), забинтовать и отправить пострадавшего на ближайший медицинский пункт
Ожог раскаленными предметами	Смазать обожженное место насыщенным раствором $KMnO_4$ или сульфидиновой эмульсией
Ожог водяным паром или кипящей водой	Помощь та же, что и при ожоге раскаленным предметом
Ожоги концентрированными кислотами	Тщательно смыть кислоту водой под краном, после чего смазать обожженное место слабым раствором (5 – 10 %-м) двууглекислой соды $NaHCO_3$ или присыпать порошком этой соды (можно применить $CaCO_3$)

Окончание табл. 1

1	2
Ожог плавиковой (фтористо-водородной) кислотой	Погрузить обожженное место на 10–15 мин в 3 %-й раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ или же промыть обильным количеством воды и наложить компресс с пастой, приготовленной из суспензии MgO
Ожог глаз концентрированными кислотами	Тщательно промыть глаза 2 %-м раствором NaHCO_3 или буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Ожог глаз щелочами: NaOH , KOH , NH_4OH	После тщательного промывания глаз водой промыть их слабой кислотой (25 %-й раствор борной или уксусной кислоты)
Ожог жидким бромом	Промыть пораженное место водой и слабым раствором аммиака. Поставить компресс из 1 %-го раствора карболовой кислоты
Отравление лабораторными газами (оксиды азота, брома, аммиака и др.)	Немедленно вывести отравленного на чистый воздух, если нужно, сделать искусственное дыхание и дать кислород. При отравлении бромом и хлором, йодом осторожно вдыхать пары аммиака из 10 %-го раствора NH_4OH . Хорошо проветрить помещение
Отравление кислотами (HCl , HNO_3 , CH_3COOH)	Принимают внутрь суспензию магнезии, молоко, муку с водой
Отравление щелочами (NaOH , KOH , NH_4OH), а также Na_2CO_3 , K_2CO_3	Принимают внутрь 5 %-ю уксусную кислоту, лимонную кислоту или сок лимона

1.2. Подготовка почвенных образцов к анализу

Образец почвы весом 600–750 г высушивают до воздушно-сухого состояния, затем помещают его на лист чистой пергаментной бумаги и удаляют из него корни, включения и новообразования. Дернину тщательно отряхивают от комочеков почвы. Крупные комки почвы разламывают руками или раздробляют в фарфоровой ступке пестиком до небольших комков, диаметром 5–7 мм. Схема подготовки почвенного образца к анализу показана на рисунке 1.

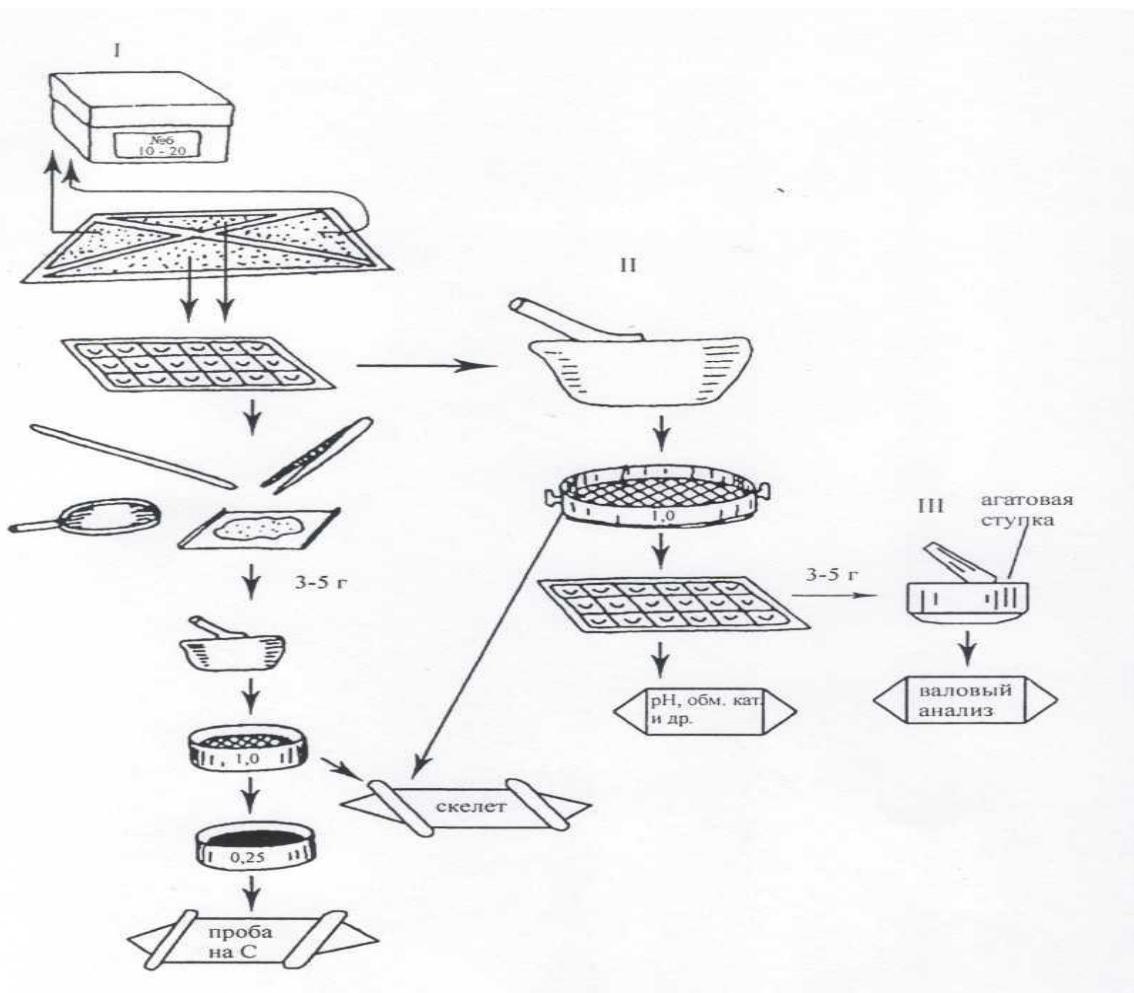


Рис. 1. Схема подготовки почвенного образца к анализу

Цель такого измельчения – получить более однородный образец и иметь возможность тщательно перемешать его при взятии средней пробы, которую отбирают методом квартования. Для этого измельченный дроблением и просеянный через сито 1 мм образец после перемешивания располагают на бумаге в виде квадрата или прямоугольника и делят диагоналями (шпателем, линейкой) на четыре равные части. Две противоположные части (2 и 4) используют для проведения различных анализов. Две другие части (1 и 3) высыпают в картонную коробку для хранения на случай повторных, дополнительных определений. В коробку следует положить этикетку почвенного образца и, кроме того, наклеить вторую этикетку на стенку коробки (см. рис. 1, I).

Аналитическая проба для определения углерода и азота. Среднюю лабораторную почвенную пробу равномерно распределяют на бумаге слоем толщиной около 5 мм. Крупные структурные агрегаты или отдельности предварительно измельчают шпателем на бумаге

или пестиком в ступке. Затем почву распределяют по бумаге и делят на квадраты со стороной 3–4 см, проводя шпателем вертикальные и горизонтальные линии. Из каждого квадрата на всю глубину слоя берут с помощью шпателя небольшое количество почвы и помещают ее в пакетик из кальки. Масса почвенной пробы должна быть не меньше 3–5 г. Если она окажется меньшей, то среднюю лабораторную пробу на бумаге перемешивают, снова делят на квадраты и берут дополнительное количество почвы в пакетик. Из взятой аналитической пробы почвы тщательно удаляют корни и другие органические остатки. Их отбирают пинцетом, просматривая почву под лупой. Чтобы корни не остались внутри структурных отдельностей, последние раздавливают шпателем или пестиком.

Для удаления органических остатков можно использовать наэлектризованную стеклянную палочку. Для этого палочку, натертую куском шерстяной ткани, передвигают на расстоянии нескольких сантиметров от слоя почвы. При этом органические остатки прилипают к палочке и удаляются из почвы. Палочку нельзя подносить близко к образцу, так как в этом случае вместе с корешками к ней могут пристать и тонкодисперсные частицы почвы.

После отбора органических остатков почву просеивают сквозь сито сначала с отверстиями 1 мм, затем – 0,25 мм (см. рис. 1, I). Прогревание почвы сквозь сито с ячейками 1 и 0,25 мм при химическом анализе преследует разные цели. Просевание сквозь сито с размером ячеек 1 мм позволяет отделить скелетную часть (крупнее 1 мм) от мелкозема (мелоче 1 мм). Все химические анализы для мелкозема и скелетной части выполняются раздельно (в подавляющем большинстве случаев ограничиваются анализом мелкозема). Поэтому нужно следить, чтобы остаток на сите в 1 мм был представлен именно скелетными частицами (гравий, галька) либо новообразованиями. Эти частицы надо сложить в пакетик с включениями и новообразованиями. Что же касается оставшихся на сите комочеков из мелкозема, то их при повторном растирании в ступке надо разминать. Оставшуюся на сите почву переносят в ступку, растирают и снова просеивают. Операцию повторяют до тех пор, пока все частицы не пройдут через сито с диаметром отверстий 1 мм. Аналитические почвенные пробы хранят в пакетиках из кальки.

Аналитическая проба для определения рН, обменных катионов, легкорастворимых солей и других анализов. Оставшуюся часть средней почвенной пробы измельчают с помощью специальных устройств для размола почвенных проб или в фарфоровой ступке с помощью пестика с резиновым наконечником и просеивают через сито с отверстиями диаметром 1 или 2 мм. Таким образом, отделяют мелкозем от скелета почвы – элементарных частиц, представленных обломками пород и минералов, диаметр которых превышает 1 мм. Их помещают в тот же пакет с включениями и новообразованиями.

Растирание и просеивание повторяют до тех пор, пока на сите не будут оставаться только частицы скелета почвы. Из подготовленной таким образом почвы берут навеску для определения обменных катионов, кислотности, рН и легкорастворимых солей (см. рис. 1, II).

Почвенные пробы хранят в банках с притертой пробкой, коробках или пакетиках. Воздух помещений, в которых хранят почвенные пробы, не должен содержать кислот и аммиака. Пробы никогда не хранят в лабораториях.

Аналитическая проба для валового анализа почв. Почву, просянную через сито с отверстиями диаметром 1–2 мм, распределяют равномерно на листе бумаги, делят на квадраты и составляют еще одну аналитическую пробу массой 5–7 г. Она предназначена для проведения валового анализа минеральной части почв (см. рис. 1, III).

Почву небольшими порциями растирают в агатовой, халцедоновой или яшмовой ступке до состояния пудры (в этом состоянии почва не царапает кожу). Яшма, халцедон, агат обладают высокой твердостью, поэтому ступки из этих материалов используют для растирания почв. Однако они очень хрупкие и требуют осторожного обращения, поэтому нельзя очищать пестик от почвы постукиванием о края ступки. Выбирая способ измельчения почвенной пробы, нужно иметь в виду возможность попадания химических элементов из материала ступки или другого растирочного аппарата в почвенную пробу. Так, при определении микроэлементов не рекомендуется растирать почву в яшмовых ступках. Яшма содержит медь и может произойти загрязнение почвенной пробы этим элементом. Подготовленные аналитические пробы для валового анализа хранят в пакетиках из кальки.

Пакеты, коробки, банки, в которых хранятся почвенные пробы, должны быть подписаны и снабжены этикетками [Ульянова, Белоусова, 2013].

2. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Химическая мелиорация почв – это регулирование состава поглощенных ППК (почвенный поглощающий комплекс) катионов путем замены избытка нежелательных из них (водород, алюминий, железо, марганец в кислых почвах, натрий, иногда магний в щелочных почвах) на кальций [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002].

Реакция почвы оказывает большое разностороннее влияние на усвоение питательных элементов, рост, развитие и урожайность растений, деятельность почвенных микроорганизмов, трансформацию разных форм питательных элементов удобрений и почвы, физические, химические, физико-химические свойства почв.

Реакция почвенного раствора обусловлена соотношением ионов водорода (H^+) и гидроксида (OH^-), ее обычно выражают символом pH, который является *отрицательным логарифмом концентрации ионов водорода*. Если в почвенном растворе концентрация ионов H^+ и OH^- одинакова, то реакция будет нейтральной, при $H^+ > OH^-$ – реакция кислая, при $H^+ < OH^-$ – реакция щелочная.

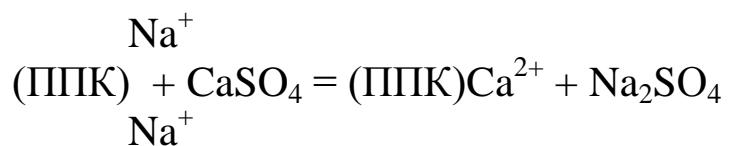
В зависимости от величины pH_{KCl} различают: < 4 – очень сильнокислые; $4,1\text{--}4,5$ – сильнокислые; $4,6\text{--}5,0$ – среднекислые; $5,1\text{--}5,5$ – слабокислые; $5,6\text{--}6,0$ – близкие к нейтральным; $6,1\text{--}7,0$ – нейтральные; $7,0\text{--}8,5$ – слабощелочные; $8,6\text{--}10,0$ – сильнощелочные; $> 10,0$ – очень сильнощелочные.

Устраняют избыточную кислотность почв *известкованием*, а избыточную щелочность – *гипсованием*. Проведение этих мероприятий должно предшествовать внесению удобрений и необходимо для создания оптимальной для сельскохозяйственных культур реакции почвенного раствора.

2.1. Гипсование солонцовых почв

Гипсование солонцовых почв – внесение в почву гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) для улучшения ее химических, физических и биологических свойств. Гипсование проводят на солонцовых почвах, имеющих высокую долю натрия в ППК и щелочную реакцию ($pH > 7$).

При внесении в почву гипса поглощенный натрий вытесняется и заменяется кальцием с образованием в растворе нейтральной соли – сульфата натрия:



В России солонцы и солонцеватые почвы занимают площадь около 28 млн га. Они отличаются большой связностью, плохими физико-химическими свойствами. Во влажном состоянии они диспергируют благодаря высокому содержанию натрия, превращаясь в мажущую массу. При обработке таких почв образуются глыбы. В сухом же состоянии обработка таких почв вовсе невозможна.

В зависимости от содержания поглощенного натрия почвы разделяются: на несолонцеватые – не более 5 % Na от емкости поглощения, слабосолонцеватые – 5–10 %, солонцеватые – 10–20 %, солонцы – более 20 %.

Виды почвенной щелочности

В щелочных почвах (южные черноземы, каштановые и солонцовые почвы) различают актуальную и потенциальную щелочность.

Актуальная щелочность обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей, при диссоциации которых преобладают гидроксильные ионы (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , NaHCO_3 и др.). Актуальная щелочность определяется при обработке почвы водой и выражается в мг-экв/100 г почвы или в виде $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Потенциальная щелочность проявляется у почв, в ППК которых в обменно-поглощенном состоянии содержится натрий, способный при вытеснении в раствор усиливать щелочность почвенного раствора.

Определение потребности почвы в гипсовании

Потребность почв в гипсовании устанавливают по степени их солонцеватости, которая обусловлена долей натрия от общего количества обменных катионов.

$$\text{Na, \%} = \text{Na} \cdot 100 / \text{ЕКО},$$

где Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;
 ЕКО – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г почвы.

В гипсование нуждаются почвы, содержащие более 10 % натрия от емкости катионного обмена.

Дозы, сроки и способы внесения гипса

Дозу гипса для нейтрализации щелочности вычисляют по формуле

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,086 \cdot (\text{Na} - 0,1 \cdot \text{ЕКО}) \cdot h \cdot d,$$

где 0,086 – эквивалентное количество гипса, необходимое для замещения 1 мг Na, мг;

Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;

ЕКО – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г почвы;

h – глубина пахотного слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя, г/см³;

0,1·ЕКО – допустимое содержание натрия от емкости катионного обмена.

С учетом содержания действующего вещества в применяемых для гипсования материалах рассчитанную дозу конкретного из них делят на действующее вещество и умножают на 100 и получают дозу мелиоранта в физическом весе.

Большие дозы гипса могут вноситься постепенно в течение 2–3 лет. Гипс можно вносить под яровую пшеницу, пропашные культуры. На корковых солонцах гипс вносят после вспашки и заделывают культивацией.

Гипсовые мелиоранты

1. Гипс сырмолотый ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) получают путем размоля природных залежей гипса, он представляет собой белый или серый порошок, содержащий до 71–73 % CaSO_4 .

2. Фосфогипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержит 70–75 % CaSO_4 и 2–3 % P_2O_5) является крупнотоннажным отходом заводов, производящих суперфосфат и преципитат. Он дешевле гипса.

3. Глиногипс. Это природные залежи рыхлой, не требующей размоля породы, содержащей 70–90 % CaSO_4 и 1–11 % глины.

4. Карбонатно-гипсовая порода легко добывается открытым способом и не нуждается в предварительной подготовке, по мелиоративному действию не уступает гипсу.

Содержание работы

1. Ознакомиться с особенностями солонцовых почв и способами их улучшения по данным конспекта теории.

2. Каждый студент получает индивидуальное задание, по материалам которого необходимо определить:

- ✓ потребность почв в гипсации;
- ✓ рассчитать дозу мелиоранта;
- ✓ предложить агротехнические способы улучшения анализируемой почвы.

Задачи и упражнения

1. Почва – южный чернозем, ЕКО – 39 ммоль /100 г, содержание обменного натрия – 7,6 ммоль/100 г, плотность почвы – 1,4 г/см³, глубина мелиорируемого слоя 0–25 см. Определить степень солонцеватости почвы и дозу гипса.

2. Расчетная доза гипса составляет 5,8 т/га. Какова доза внесения фосфогипса в физической массе? Действующее вещество фосфогипса дано в приложении 1.

3. Определите дозу гипса на светло-каштановой, тяжелосуглинистой почве, где S = 28 ммоль/100 г, Na = 5,7 ммоль/100 г, гумус – 2,1 %.

4. Определите дозу гипса на светло-каштановой супесчаной почве, где S = 18 ммоль/100 г, Na = 5,8 ммоль/100 г, гумус – 1,6 %.

5. Почва – солонец корковый, ЕКО – 28 ммоль /100 г, содержание обменного натрия – 8,3 ммоль/100 г, плотность почвы – 1,5 г/см³, глубина мелиорируемого слоя – 0–7 см. Определить степень солонцеватости почвы и дозу гипса.

6. Рассчитайте дозу гипса, необходимую для мелиорации солонца высокостолбчатого, если S – 30,6 ммоль /100 г, содержание обменного натрия – 6,3 ммоль/100 г, плотность почвы – 1,48 г/см³, глубина мелиорируемого слоя 0–24 см.

7. Определите степень солонцеватости и рассчитайте дозу гипса для мелиорации каштановой почвы с содержанием гумуса 3,5 %, если

содержание обменного натрия – 5,8 ммоль/100 г, ЕКО – 23 ммоль/100 г, плотность почвы – 1,37 г/см³, глубина мелиорируемого слоя – 0–16 см.

8. По представленным данным, выраженным в ммоль на 100 г почвы, определите: нуждается ли почва в химической мелиорации; если нуждается, то в какой?

- а) ЕКО = 15,5; Hr = 8;
- б) S = 8,5; Hr = 4,6;
- в) Na⁺ = 5; S = 20;
- г) ЕКО = 28; Ca²⁺ + Mg²⁺ = 22; pH_{H₂O} > 7;
- д) S = 12; ЕКО = 20; pH_{H₂O} < 7;
- е) Ca²⁺ + Mg²⁺ = 35; ЕКО = 40; pH_{H₂O} > 7;
- ж) Ca²⁺ = 8 ; Mg²⁺ = 3; Hr = 6.

9. Определите степень нуждаемости в мелиоранте и рассчитайте его дозу для пахотного слоя (0–20 см) по следующим показателям:

Почва	Горизонт	Глубина, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S	Плотность сложения, г/см ³
1	A ₁	0–12	18,06	4,31	5,25	27,62	1,27
	B ₁	12–23	12,00	3,04	13,33	38,37	1,49
2	A ₁	0–10	27,13	9,57	8,50	45,20	1,35
	B ₁	10–23	11,44	6,33	13,23	31,00	1,47
3	A ₁	0–18	19,89	5,82	1,60	27,01	1,26
	B ₁	18–27	24,33	6,72	5,46	36,45	1,47

10. Для создания культурного пахотного слоя требуется узнать, нуждается ли почва в мелиорирующем веществе и в какой дозе по следующим показателям:

Почва	Горизонт	Глубина, см	Ммоль на 100 г почвы				Плотность сложения, г/см ³
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S	
1	A ₁	0–15	7,41	2,38	8,10	17,89	1,1
	B ₁	15–24	2,68	1,89	23,29	27,86	1,5
2	A ₁	0–10	47,97	9,64	3,86	61,47	1,2
	B ₁	10–35	34,32	9,18	6,70	50,20	1,5
3	A ₁	0–10	27,16	9,57	8,50	45,23	1,3
	B ₁	10–23	11,44	6,38	13,23	31,05	1,5

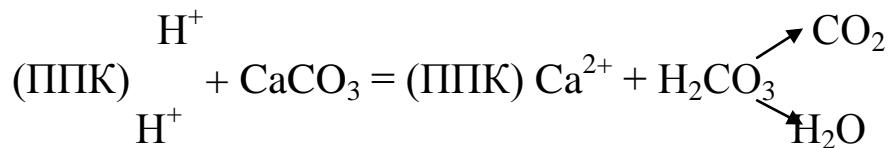
11. Что можно сказать о почве с точки зрения состава поглощенных катионов почвенного поглощающего комплекса по следующим данным, выраженным в ммоль на 100 г почвы?

- а) $\text{Ca}^{2+} = 29$; $\text{Mg}^{2+} = 5,8$; $\text{Na}^+ = 1,9$;
- б) $\text{Na}^+ = 2$; $\text{S} = 22$;
- в) $\text{Na}^+ = 9$; ЕКО = 28;
- г) ЕКО = 30; $\text{Na}^+ = 6$.

2.2. Известкование кислых почв

Известкование – внесение в почву кальция (или магния) в виде карбоната, оксида или гидрооксида для нейтрализации кислотности.

При внесении известковых удобрений Ca^{2+} вытесняет из ППК H^+ :



Этот прием химической мелиорации направлен не только на нейтрализацию избыточной кислотности почвы, но и на улучшение ее агрохимических, агрофизических и биологических свойств, обеспечение растений кальцием и магнием, мобилизацию и иммобилизацию макро- и микроэлементов в почве, создание оптимальных физических, водоно-физических, воздушных и других условий жизни культурных растений.

Виды почвенной кислотности

Различают два типа почвенной кислотности: *актуальную* и *потенциальную*.

Актуальная кислотность обусловлена ионами водорода, которые находятся в почвенном растворе (водной вытяжки) и обозначается символом $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Потенциальная кислотность делится на обменную и гидролитическую. Обменная кислотность вызвана наличием в почве в поглощенном состоянии ионов водорода, которые вытесняются в раствор воздействием на почву нейтральной солью KCl 1 н. концентрации и обозначается символом pH_{KCl} . Гидролитическая кислотность (Нг) –

определяется ионами водорода, которые прочно связаны в ППК и вытесняются в раствор гидролитически щелочной солью CH_3COONa 1 н. концентрации. Гидролитическая кислотность почвы является скрытой. Она не вредна растениям, если почва не обладает обменной кислотностью. При повышенных значениях почвенной кислотности возрастает активность Al, Mn, Fe, которые оказывают токсичное влияние на растение.

Обменную и гидролитическую кислотность принято выражать в мг-экв/100 г или в ммоль/100 г почвы.

Отношение сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности

Большинство сельскохозяйственных культур развивается при нейтральной или близкой к нейтральной реакции почвенного раствора, наиболее благоприятной для многих полезных почвенных микроорганизмов. Однако есть культуры, для которых оптимальна более кислая, или находящаяся в широком интервале pH, реакция среды.

По отношению к кислотности почвы возделываемые растения делят на несколько групп (табл. 2).

Устойчивы к повышенной кислотности почв, но трудно переносят избыток кальция, лен и особенно картофель, а также малина, земляника и крыжовник. Лен хорошо развивается при pH 5,5–6,0, а картофель и ягодные культуры – в более широком интервале (pH 4,5–6,5). При избытке кальция снижается не только урожайность, но и ухудшается качество продукции.

Таблица 2
Группировка растений по отношению к почвенной кислотности

Группа	Оптимальное значение pH	Культуры	Нуждаемость в известковании
1	2	3	4
Наиболее чувствительные	6,5–7,5	Люцерна, эспарцет, свекла, белокочанная капуста, соя, конопля, хлопчатник	На слабокислых почвах
Чувствительные	6,0–7,0	Огурец, лук, чеснок, салат, цветная капуста, кукуруза, подсолнечник, вика, клевер, донник, фасоль, горох, кормовые бобы, озимая и яровая пшеница, ячмень, костер	На среднекислых почвах

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Устойчивые	5,0–6,0	Тимофеевка, гречиха, рожь, овес, просо, томат, редис, морковь, лен, картофель, малина, земляника, крыжовник	На средне- и сильнокислых почвах
Наиболее устойчивые	4,5–5,0	Люпин, чайный куст, щавель, сераделла	На очень сильнокислых почвах

*Определение нуждаемости почв в известковании
и расчет дозы извести*

Степень нуждаемости почвы в известковании можно определить по величине pH : $< 4,5$ – сильная; $4,6–5,0$ – средняя; $5,1–5,5$ – слабая; $> 5,6$ – не нуждается в известковании.

Более точно необходимость известкования почвы определяется по величине степени насыщенности (V , %) почвы основаниями, которая рассчитывается по формуле

$$V, \% = S \cdot 100/EKO,$$

$$EKO = S + Hg,$$

где S – сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы;
 Hg – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;
 EKO – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г почвы.

Степень нуждаемости в известковании при V , %:
 < 50 – сильная;
 $51–70$ – средняя;
 $71–80$ – слабая;
 > 80 – не нуждается.

Расчет дозы извести, необходимой для нейтрализации почвы, зависит от величины гидролитической кислотности, выраженной в мг-экв. на 100 г почвы. Дозу извести вычисляют по формуле

$$\text{Доза } CaCO_3 (\text{т/га}) = Hg \cdot 0,05 \cdot d \cdot h,$$

где Hg – величина гидролитической кислотности, мг-экв/100 г почвы;

0,05 – количество извести в граммах, соответствующее 1 мг-экв. почвенной кислотности;

h – высота мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя.

Если принять глубину пахотного слоя равной 20 см, а среднюю плотность сложения – 1,5 г/см³, формула будет упрощена:

$$\text{Доза } \text{CaCO}_3 (\text{т/га}) = 1,5 \cdot H_{\Gamma}.$$

Устанавливая дозу извести, учитывают гранулометрический состав почвы, биологические особенности растений и степень нуждаемости почвы в известковании. При сильной нуждаемости применяется полная расчетная доза извести, при средней – 1/2 или 3/4, при слабой – 1/3 или 1/4 дозы. Кроме того, учитывается отношение культур к известкованию.

На тяжелых почвах и под культуры, отличающиеся очень высокой и умеренной чувствительностью к кислотности почв, вносят полную норму извести. На почвах легкого гранулометрического состава и для культур слабо чувствительных к кислотности оптимальная доза 1/2–2/3 полной дозы.

Известкование должно предшествовать (или сочетаться) внесению органических и минеральных удобрений, так как это резко повышает их взаимную эффективность. Сочетание извести с органическими удобрениями нередко позволяет вдвое уменьшить их дозу без существенного снижения эффективности под первой культурой сезонооборота и тем самым вдвое увеличить удобряемую площадь.

Вносить известь нужно под те культуры, которые особенно чувствительны к кислотности почвы. После внесения извести такие культуры дают высокие прибавки урожая. Можно вносить известь под вспашку занятых паров.

Известковые мелиоранты

Известковые мелиоранты делятся на три группы:

1. Промышленного производства, получаются размолом твердых карбонатных пород: известняков и доломитов (известняковая мука, доломитовая мука). Твердые карбонатные породы по содержанию кальция и магния делятся на известняки (55–56 % CaO, 0,9 % MgO), известняки доломитизированные (42–55 % CaO и до 9 % MgO)

и доломиты (32–30 % CaO, 18–20 % MgO). По содержанию примесей твердые породы делятся на чистые известковые (не более 5 %) – известняк, доломит; мергелистые или песчанистые известковые породы – 5–25 %; мергель или песчаная известковая порода – 25–50 %.

По обобщенным данным ВИУА наиболее эффективной считается тонко размолотая фракция известняковой муки менее 0,25 мм.

2. Отходы промышленности, богатые известью (металлургические шлаки, цементная пыль, белитовая мука, сланцевая зола и другие). Содержание извести в них приведено в приложении 2.

3. Местные удобрения из рыхлых карбонатных пород (известковый туф, мергель), которые не нуждаются в размоле.

Требования к внесению и заделке извести

1. Основным требованием является равномерное распределение (рассев) извести с последующим тщательным перемешиванием с почвой.

2. При известковании полной дозой повторное внесение извести проводят через 6–8 лет.

3. Полную дозу извести вносят в два приема: большая часть дозы заделывается с осени под вспашку зяби, меньшая – под культивацию.

4. Обязательным условием эффективного известкования является оптимальная влажность почвы.

5. Недопустимо внесение извести весной, поскольку почвенная влага будет использована на гашение извести, а почва иссушена.

6. Внесение извести в зимнее время может быть в исключительных случаях при строго определенных условиях: по тонкому снегу, на выровненных местах, в безветренную погоду.

7. Недопустимо совместное внесение извести с навозом и аммиачными удобрениями, вследствие потерь азота.

8. Для рассева слабопылящих материалов используют разбрасыватель минеральных удобрений РУМ-3, универсальный тракторный прицеп-разбрасыватель 1-ПТУ-3,5; разбрасыватель минеральных удобрений и извести РМИ-2, навешенный на разбрасыватель-прицеп удобрений РПТУ-2А и туковые сеялки.

Потенциометрическое определение актуальной и обменной кислотности

Принцип метода. Метод основан на определении активности ионов водорода. Для измерения величины pH используется электрон-

ная схема со стеклянным электродом, в который впаян литиевый стерженек. При погружении электрода в раствор происходит обмен ионов лития с поверхности слоев на ионы водорода. Благодаря разности потенциалов возникает электродвижущая сила, величина которой соответствует активности ионов водорода в растворе. Извлечение обменных катионов водорода производится раствором хлористого калия концентрации 1 моль/дм³ (1 н.) при соотношении почвы и раствора 1 : 2,5.

Цель работы: научиться определять актуальную и обменную кислотность почв.

Материалы и оборудование: весы технические, колбы на 100 мл, дистиллированная вода, 1 н. раствор KCl, стандартные буферные растворы с pH от 1,68 до 9,22, стаканчики на 50 мл, иономер, вспомогательный хлорсеребряный электрод, стеклянный электрод, предварительно выдержаный в 0,1 н. растворе соляной кислоты.

Ход определения

В две конические колбы на 100 мл отвешивается на технических весах по 10 г воздушно-сухой почвы, пропущенной через сито с отверстиями 1 мм. В одну колбу приливается 25 мл свежей дистиллированной воды, во вторую – 25 мл 1 н. раствора хлористого калия (колбы подписать).

Содержимое колб тщательно перемешивается и встряхивается на ротаторе в течение 30 мин, далее суспензию переносят в стаканчик и производят определение pH водной и солевой суспензии на иономере. Электроды погружаются в стаканчик с испытуемым раствором, ожидается успокоение стрелки прибора и производится отсчет по верхней шкале прибора. При этом сопоставляются показания на верхней шкале и положение переключателя «пределы измерения». Измеряемая величина pH будет равна: начальное значение pH для данного диапазона измерений (берется нижний предел измерений) + показание верхней шкалы прибора.

Обсуждение результатов

При выполнении лабораторной работы каждый студент получает индивидуальный почвенный образец, характеризуемый данными этикетки.

- На основании полученных результатов:
 - ✓ рассчитайте степень насыщенности почвы основаниями;
 - ✓ определите потребность почвы в известковании;
 - ✓ рассчитайте дозу и норму известьсодержащего мелиоранта;
 - ✓ оформите в рабочей тетради выводы и обоснуйте полученные результаты.
- Каждый студент получает индивидуальное расчетное задание, по которому следует:
 - ✓ определить нуждаемость почвы в мелиоративных мероприятиях;
 - ✓ рассчитать дозу и норму мелиоранта и записать выводы.

Задачи и упражнения

- Рассчитайте дозу извести под яровую пшеницу на дерново-подзолистой почве: $S = 18 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$, $H_r = 11,0 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$.
- Какое из имеющихся удобрений (двойной суперфосфат, фосфоритная мука, бесфторенный фосфат) возможно применять на дерново-подзолистой почве со следующими агрохимическими показателями: $S = 8 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$, $H_r = 6,4 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$, $pH_{KCl} = 4,2$?
- Сколько необходимо внести извести в физическом весе под клевер, если $H_r = 8,7 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$, $S = 19 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$?
- В хозяйстве имеются простой суперфосфат, двойной суперфосфат, фосфоритная мука. Какое удобрение вы будете применять: под ячмень при $S = 20 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$, $H_r = 9,8 \text{ ммоль}/100 \text{ г}$?
- Доза внесения извести, рассчитанная по H_r , составляет 2,8 т/га. Какова норма внесения в физическом весе следующих мелиорантов:
 - доломитовая мука (80; 95 %);
 - сланцевая зола (55; 60; 78 %);
 - известковый туф (25; 40; 55 %).
- По приведенным данным, выраженным в $\text{ммоль}/100 \text{ г}$ почвы, определите: нуждаются ли почвы в химической мелиорации; если нуждаются, то в какой?
 - $\text{Ca}^{2+} = 2,5$; $\text{Mg}^{2+} = 1$; $Hr = 8$;
 - $S = 12$; $Hr = 4$;
 - $EKO = 21$; $Hr = 5$;
 - $\text{Ca}^{2+} = 4,6$; $\text{Mg}^{2+} = 1,3$; $EKO = 7,4$;
 - $S = 10,4$; $EKO = 14,2$;

- е) $S = 4,4$; $Hr = 3,5$;
ж) $\text{Ca}^{2+} = 2,9$; $\text{Mg}^{2+} = 0,7$; $Hr = 7,3$.

7. Для создания культурного слоя почвы требуется узнать, нуждается ли она в мелиорантах и в какой дозе по следующим показателям:

Почва	Горизонт	Глубина, см	Ммоль на 100 г почвы				Плотность сложения, г/см ³
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Hr	EKO	
1	A ₁	5–10	7,4	6,3	5,5	19,2	1,2
	A ₂	10–25	3,5	2,5	0,8	6,8	1,5
2	A ₁	0–15	22,0	1,9	3,8	27,7	1,2
	A ₁ A ₂	15–35	16,8	0,9	4,3	22,0	1,3
3	A ₁	2–8	9,9	3,7	4,7	18,3	1,2
	A ₂	8–25	1,2	0,8	2,2	4,4	1,4

8. Дайте прогноз применения фосфоритной муки. Почва: дерново-подзолистая при $S = 24$ ммоль/100 г, $H_r = 6,0$ ммоль/100 г; серая лесная при $S = 25$ ммоль/100 г, $H_r = 4,8$ ммоль/100 г.

9. Определите степень нуждаемости почв в мелиорации и дозу внесения извести по следующим показателям:

Почва	Горизонт	Глубина, см	Ммоль на 100 г почвы				Плотность сложения, г/см ³
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Hr	EKO	
1	A ₁	0–18	11,2	1,5	5,3	18,0	1,2
	A ₂	18–30	8,8	2,2	3,7	14,7	1,5
2	A ₁	0–12	18,4	3,2	4,5	26,1	1,1
	A ₂	12–22	17,4	0,9	2,1	20,4	1,3
3	A ₁	2–8	9,8	3,7	4,8	18,3	1,2
	A ₂	8–23	1,5	0,7	2,2	4,4	1,5

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Физическая поглотительная способность – это:

- а) положительная или отрицательная адсорбция целых молекул поверхностью почвенных частиц;
- б) совокупность дисперсионных и электростатических сил с химическими реакциями.

2. Биологическая поглотительная способность – это:

- а) поглощение химических элементов растениями, почвенными животными и микроорганизмами;
- б) поглощение химических элементов микроорганизмами.

3. Чем обусловлена обменная кислотность минеральных горизонтов подзолистых почв:

- а) наличием фульвокислот в почвенном растворе;
- б) присутствием свободной угольной кислоты;
- в) наличием в обменном состоянии K^+ ;
- г) наличием в обменном состоянии ионов H^+ и Al^{3+} .

4. Химическая поглотительная способность – это:

- а) образование труднорастворимых соединений в результате химического взаимодействия;
- б) образование органоминеральных коллоидов.

5. К группе слабокислых относятся почвы, величина pH которых:

- а) ниже 5,0;
- б) ниже 5,5;
- в) ниже 6,0;
- г) ниже 7,0.

6. К группе среднекислых относятся почвы, величина pH которых:

- а) ниже 5,0;
- б) ниже 5,5;
- в) ниже 6,0;
- г) ниже 7,0.

7. Степень насыщенности основаниями, которая характерна для горизонта А₂ подзолистых почв:

- а) < 50 %;
- б) 50–75 %;
- в) 75–85 %;
- г) > 85 %.

8. Вид агрохимической мелиорации, который будете использовать на почвах элювиального ряда:

- а) известкование;
- б) глинование;
- в) гипсование;
- г) пескование.

9. Горизонт серых лесных почв, который имеет наибольшую емкость поглощения:

- а) $A_{\text{пах}}$;
- б) A_1A_2 ;
- в) A_2B ;
- г) B .

10. Актуальная кислотность – это:

- а) кислотность, обусловленная повышенной концентрацией ионов H^+ по сравнению с ионами OH^- в почвенном растворе;
- б) кислотность, обусловленная корневыми выделениями растений;
- в) кислотность, обусловленная ионами H^+ , входящими в состав ППК.

11. Какой вид агрохимической мелиорации будете использовать на почвах элювиального ряда:

- а) известкование;
- б) глинование;
- в) гипсование;
- г) пескование.

12. Вид поглотительной способности связан с образованием труднорастворимых фосфатов:

- а) механическая;
- б) физическая;
- в) химическая;
- г) биологическая.

13. Вид поглотительной способности, который связан с образованием труднорастворимых фосфатов:

- а) механическая;
- б) физическая;
- в) химическая;
- г) биологическая.

14. На каких темно-серых почвах наиболее эффективно применение фосфоритной муки:

- а) темно-серых глеевых;
- б) темно-серых остаточно-карбонатных;
- в) темно-серых обычных ($Hr = 5$ ммоль/100 г почвы, ЕКО = 20 ммоль/100 г почвы);
- г) темно-серых обычных $Hr = 1,5$ ммоль/100 г почвы, ЕКО = 25 ммоль/100 г почвы).

15. Степень солонцеватости южного чернозем с содержанием обменного $\text{Na}^+ = 12\%$ от емкости поглощения:

- а) несолонцеватый;
- б) слабой;
- в) средней;
- г) сильной.

16. Каштановые имеют реакцию почвы в верхнем горизонте:

- а) кислую;
- б) сильнощелочную;
- в) слабокислую;
- г) слабощелочную.

17. Горизонт солонца, для которого характерна наибольшая емкость поглощения:

- а) A₁;
- б) B₁;
- в) B₂;
- г) C.

18. Щелочная реакция почвенного раствора в почвах солонцового типа обусловлена:

- а) наличием солей NaCl ;
- б) присутствием в обменном состоянии иона Mg^{2+} ;
- в) наличие соды и обменного натрия;
- г) присутствием солей Na_2SO_4 .

19. Ион водорастворимых солей, который характеризуется наибольшей токсичностью:

- а) SO_4^{2-} ;
- б) HCO_3^- ;
- в) CO_3^{2-} ;
- г) Cl^- ;
- д) NO_3^- .

20. Укажите приемы мелиорации высокостолбчатого солонца:

- а) промывка;
- б) гипсование;
- в) «самомелиорация»;
- г) кислование.

21. Культуры-освоители, которые предпочтительнее использовать при мелиорации солонцовых почв в условиях орошения:

- а) яровую пшеницу;
- б) кормовые;
- в) бахчевые;
- г) многолетние травы;
- д) однолетние травы.

22. Рекомендуется сочетать промывку засоленных почв с внесением гипса:

- а) при кальциево-магниевом засолении;
- б) при кальциевом засолении;
- в) при натриевом засолении;
- г) при магниево-кальциевом засолении.

23. Солонцы, которые наиболее трудны для земледельческого освоения:

- а) корковые;
- б) средние;
- в) мелкие;
- г) глубокие.

24. При поливе минерализованными водами возможно развитие процессов:

- а) осолонцевания и засоления;
- б) улучшение структурообразования;
- в) осолодения;
- г) активизация процессов гумусонакопления.

25. Назовите классика отечественной агрохимии и почвоведения, основные труды которого посвящены поглотительной способности почвы:

- а) Д.Н. Прянишников;
- б) Н.С. Авдонин;
- в) К.К. Гедройц;
- г) А.В. Петербургский;
- д) Д.И. Менделеев.

26. Установите соответствие степени нуждаемости почвы в известковании с величиной рН в солевой вытяжке:

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1. Сильная. | a) $\text{pH} > 5,6$; |
| 2. Средняя. | б) $\text{pH} 5,1-5,5$; |
| 3. Слабая. | в) $\text{pH} 4,6-5,0$; |
| 4. Не нуждаются. | г) $\text{pH} 4,6-5,0$. |

27. Установите соответствие степени нуждаемости почвы в известковании с величиной насыщенности (%) ППК основаниями:

- | | |
|------------------|--------------|
| 1. Сильная. | а) > 85 ; |
| 2. Средняя. | б) $70-80$; |
| 3. Слабая. | в) $50-70$; |
| 4. Не нуждаются. | г) < 50 . |

28. рН среды – это.....

29. Единица измерения емкости катионного обмена (ЕКО) –.....

30. Природа минерализации органического вещества в почве:

- а) химическая;
- б) биологическая;
- г) физико-химическая.

2.3. Определение возможности фосфоритования почв

Обеспеченность почв подвижным фосфором – один из основных показателей ее плодородия. В земледельческой части Красноярского края более 30 % пахотных угодий низко обеспечены фосфором [Рекомендации..., 2009]. В России восточнее Урала нет заводов по производству фосфорных удобрений [Чайкина, Науменко, 2001]. Поэтому сельскохозяйственные угодья этой территории испытывают еще больший их дефицит, чем европейская часть страны. Дефицит фосфорных удобрений в Сибири привел к освоению месторождений местного сырья. Запасы фосфатных руд в бассейнах Сибири и Дальнего Востока составляют около миллиарда тонн руды. В Красноярском крае известно более 10 месторождений апатитов и фосфоритов. Наибольший интерес представляют Сейбинское, Телекское и Татарское месторождения.

Низкопроцентные фосфориты месторождений могут быть использованы после их размола и обогащения в виде фосфоритной му-

ки. Это технически вполне доступный и экономически оправданный путь резкого снижения дефицита фосфора в земледелии Приенисейской Сибири [Рудой, 2010].

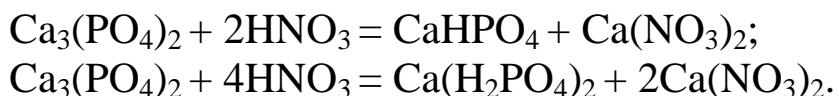
Фосфоритование – прием использования фосфоритной муки, при котором в почву вносится не менее 200 кг Р₂O₅ или 1 т удобрения III сорта (20 % Р₂O₅) в физическом весе [Удобрения из минерального и органического сырья..., 2013].

В фосфоритной муке фосфор находится в соединении Ca₃(PO₄)₂, недоступном для растений, на почвах с гидролитической кислотностью ниже 2,5 мг-экв /100 г почвы фосфорит не действует. Если же кислотность выше этой величины (> 2,5), то действие фосфоритной муки повышается и приближается к действию растворимых фосфатов. Чем больше гидролитическая кислотность и меньше емкость поглощения, тем выше эффективность фосфоритной муки (табл. 3).

Таблица 3
**Зависимость эффективности фосфоритной муки
от физико-химических свойств почвы**

Фосфоритная мука по эффективности не уступает суперфосфату				Фосфоритная мука не действует, V, %
Нг	S	EKO	V, %	
мг·экв на 100 г почвы				
2–4	3–11	5–15	60–70	80
4–5	11–20	15–25	65–75	85
5–6	20–34	25–40	70–80	90
6–7	34–43	40–50	75–85	95

Фосфоритную муку следует вносить в кислые почвы, в которых она постепенно разлагается сначала до двухзамещенного, а затем до однозамещенного фосфата кальция [Удобрения из минерального и органического сырья... 2013]:



Зависимость между свойствами почв и возможность более эффективного применения фосфоритной муки определяют также с помощью графика Б.А. Голубева (рис. 2):

- фосфорит не действует – фосфоритную муку применяют только после компостирования с навозом, торфом, окисленным углем в количестве 2–4 % массы удобрений;
- фосфорит действует слабее суперфосфата – применяют в смеси с физиологически кислыми удобрениями, с навозом, торфом, гидролизным лигнином;
- действие фосфорита не ниже суперфосфата – применяют в чистом виде.

Рассчитать дозу фосфоритной муки можно по формуле [Удобрения из минерального и органического сырья..., 2013]

$$Д = (В - А) \cdot С,$$

где $Д$ – доза P_2O_5 , кг/га;

$В$ – планируемый уровень содержания P_2O_5 , мг/100 г почвы;

$А$ – фактическое содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы;

$С$ – расход P_2O_5 для повышения его содержания на 1 мг в 100 г почвы.

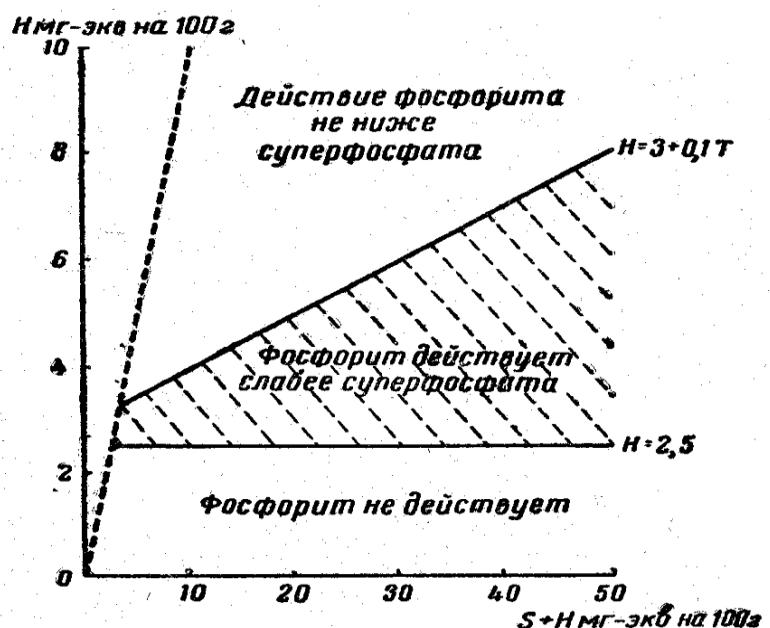


Рис. 2. График Б.А. Голубева для прогноза действия фосфоритной муки

Нормативы расхода питательного вещества для повышения содержания подвижного фосфора на 1 мг в 100 г почвы разработаны во ВНИПТИХИМ и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Расход питательного вещества для повышения содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг в 100 г почвы

Почвы	Гранулометрический состав	Расход P ₂ O ₅ , кг/га
Дерново-подзолистые	Песчаные и супесчаные	50–60
	Легко- и среднесуглинистые	70–90
	Глинистые и тяжелосуглинистые	100–120
Дерново-подзолистые глеевые	Глинистые и тяжелосуглинистые	150–160
Серые лесные	Песчаные и супесчаные	70–80
	Легко- и среднесуглинистые	90–110
	Глинистые и тяжелосуглинистые	120–140
Черноземы оподзоленные и выщелоченные	Песчаные и супесчаные	80–90
	Легко- и среднесуглинистые	90–100
	Глинистые и тяжелосуглинистые	100–120

Вопросы к коллоквиуму «Химическая мелиорация почв»

1. Дайте характеристику видам почвенной кислотности.
2. Охарактеризуйте отношение сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности.
3. По каким показателям определяют нуждаемость почвы в известковании?
4. Какие почвы необходимо известковать и как рассчитать дозу извести?
5. Назовите промышленные и местные известковые удобрения и дайте им характеристику.
6. Укажите требования, предъявляемые к внесению и заделке извести.
7. Эффективность известкования почв.
8. Дайте характеристику видам почвенной щелочности.
9. Охарактеризуйте отношение сельскохозяйственных культур к почвенной щелочности.
10. Какие почвы необходимо гипсовать и как рассчитать дозу гипса?
11. Дозы, сроки и способы внесения гипса.
12. Дайте характеристику гипсовым удобрениям.
13. Эффективность гипсования почв.
14. Почему известкование и гипсование относят к химической мелиорации почв?
15. Какое действие оказывает гипс на бобовые травы?
16. Каковы возможности фосфоритования почв? Приведите примеры эффективного действия фосфоритной муки на разных почвах.

3. ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВ

3.1. Оценка обеспеченности почв азотом и потребности растений в азотных удобрениях

Большая часть органических соединений в растениях содержит в своем составе азот. К ним относятся аминокислоты, нуклеиновые кислоты, ферменты, хлорофилл, а также переносчики энергии – АТФ (аденозинтрифосфат) и АДФ (аденозиндифосфат). Если растение не обеспечено азотом для формирования этих жизненно важнейших компонентов, оно не может расти и развиваться.

Азот нужен растению для формирования новых клеток. В процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды образуются углеводы, но при отсутствии азота этот процесс не может завершиться и сформировать белки, нуклеиновые кислоты и другие составные части растительного организма, в которых азот является обязательным элементом.

Прогноз обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом является наиболее сложным, поскольку в отличие от почвенной диагностики фосфорного и калийного питания по азоту невозможно, в силу высокой мобильности его соединений, составить долгосрочные агрорхимические картограммы. В течение теплого периода года обеспеченность растений доступными соединениями почвенного азота многократно меняется в зависимости от запасов органических азотсодержащих соединений, способных к разложению, скорости и направленности процессов минерализации и иммобилизации, интенсивности потребления и выноса элемента растениями.

Агротехнический метод определения обеспеченности растений азотом

В практической деятельности не всегда имеются материалы по количественным характеристикам содержания доступного азота в почве. Однако сориентироваться по возможной обеспеченности культур элементом необходимо. В этом случае можно воспользоваться агротехническим методом, основанным на учете закономерностей нитратонакопления в зональных почвах в зависимости от агротехнического фона. Количество нитратного азота находится в прямой зависимости от агротехнических приемов – предшественника, сроков и приемов основной обработки почвы, времени посадки культур. Наиболее активно процессы нитрификации развиваются в паровом поле.

При соблюдении технологии подготовки пара в почве в течение теплого периода под влиянием естественного увлажнения и периодических механических обработок создаются благоприятные условия для минерализации накопленных за севооборот неспецифических органических веществ. На черноземных почвах, темно-серых, темно-каштановых и лугово-черноземных почвах в полуметровой толще парового поля в течение лета может накапливаться 120–210 кг нитратного азота на 1 га пашни. Поэтому на почвах с высоким потенциальным плодородием при посеве по паровому полю необходимости в применении азотных удобрений не возникает.

Роль парового предшественника как накопителя нитратов снижается на почвах с низким содержанием органического вещества. На светло-каштановых, светло-серых и дерново-подзолистых почвах под культуры, высеваемые по пару, необходимо вносить дополнительно азотные удобрения (табл. 5).

Основная обработка почвы оказывает существенное влияние на накопление нитратного азота. Систематические безотвальные обработки в сравнении со вспашкой приводят к снижению содержания этой формы азота в 1,4–1,7 раза. Ранняя зябь способствует более интенсивному прохождению процессов минерализации, а, следовательно, и повышению запасов доступного азота в почве.

Ранняя распашка многолетних трав (июль-август), в отличие от позднего подъема пласта (сентябрь-октябрь), позволяет создать благоприятные условия для прохождения процессов минерализации органических азотсодержащих веществ и образования высоких запасов минерального азота.

В связи с низкой биологической активностью почв под многолетними травами и быстрым потреблением растениями накопление минерального азота в течение лета крайне невысокое.

Этот метод наиболее прост в исполнении, но, несомненно, несколько условен, поскольку не имеет конкретных количественных характеристик содержания доступного азота.

Таблица 5

Схема определения потребности полевых культур в азотных удобрениях на основе агротехнического подхода

Культура и предшественник	Обеспеченность азотом	Потребность в азотных удобрениях
1	2	3
Дерново-подзолистые, светло-серые, светло-каштановые, каштановые почвы		
Независимо от предшественника	Низкая и очень низкая	Высокая

Окончание табл. 5

1	2	3
<i>Черноземы лесостепные, лугово-черноземные, темно-серые</i>		
Пар чистый	Высокая	Отсутствует
Первое поле после пара		
Пропашные удобренные		
Пласт многолетних бобовых трав		
Второе поле после пара		
Сидеральный пар		
Занятый пар		
Оборот пласта многолетних трав	Средняя	Средняя
Зернобобовые		
Другие предшественники	Низкая	Высокая
<i>Серые лесные, черноземы южные, темно-каштановые почвы</i>		
Пар чистый	Средняя	Средняя
Все предшественники кроме пара	Низкая	Высокая

Агрохимический метод определения обеспеченности растений азотом и потребности в азотных удобрениях

Наиболее достоверным методом прогноза обеспеченности растений азотом и определения потребности в азотных удобрениях является ежегодное агрохимическое обследование. Этот подход, основанный на определении содержания нитратного азота, впервые был предложен А.Е. Кочергиным для черноземов Западной Сибири. В последующем он широко апробирован на разных почвах во всех зонах Сибири.

Агрохимическое обследование почв на содержание подвижных форм минерального азота проводится подразделениями государственной агрохимической службы. На основании полевого отбора почвенных образцов, аналитического определения содержания азота в образцах и камеральной обработки материалов составляются рекомендации по применению азотных удобрений под культуры. Одновременно рекомендуются приемы и дозы внесения азотных удобрений под культуры, где выявлена недостаточная обеспеченность азотом.

Сроки отбора почвенных образцов. Агрохимическое обследование с целью диагностики обеспеченности растений нитратным азотом во всех регионах проводят по сплошному и аналоговому принципу за 7–10 дней до посева. Прогноз обеспеченности азотом во всех регионах Сибири можно проводить в два срока: поздней осенью или вес-

ной до посева. Содержание нитратов в течение периода осень-зима-весна не меняется или, как правило, изменения не выходят из того же класса обеспеченности.

Осеннее агрохимическое обследование проводят после торможения процессов минерализации, т. е. при затухании микробиологической деятельности. Такой период наступает при опускании среднесуточной температуры на глубине пахотного слоя ниже 10 °С.

Весной агрохимическое обследование ограничено коротким периодом от оттаивания почвы до посадки. Весенний отбор образцов целесообразнее проводить лишь для уточнения обеспеченности растений азотом на тех почвах, где осенью предшествовало агрохимическое обследование.

Глубина отбора образцов для диагностики определяется зональными и провинциальными особенностями почвенного покрова, гидротермического режима и интенсивности биологической активности почв той территории, где намечается проводить обследование. Работами сибирских агрохимиков [Гамзиков, 1981, 2013; Крупкин, 1982; Пигарева, 1999; Мальцев, 2000] доказана возможность проводить агрохимическую диагностику обеспеченности нитратным азотом в слое почвы 0–20 и 0–40 см.

Методы агрохимических анализов почв. При массовом отборе почвенных образцов аналитическое определение нитратного азота проводится в зимний период в воздушно-сухих образцах.

Градации обеспеченности почв азотом и потребности растений в азотных удобрениях. Уровни обеспеченности культур доступными соединениями минерального азота за счет почвенных запасов и потребности в дополнительном внесении азотных удобрений устанавливаются в соответствии с предлагаемыми градациями для каждого обследуемого слоя (табл. 6). Градации разработаны на основании полевых опытов по определению отзывчивости растений на внесение азотных удобрений в зависимости от количества нитратного азота, содержащегося при агрохимическом обследовании и накопленном в процессе текущей нитрификации в период вегетации растений.

Таким образом, рациональное использование азотных удобрений дает возможность увеличить продуктивность растений, улучшить качество растениеводческой продукции, повысить оплату 1 кг азота внесенных туков и выход кормового белка в 1,5 раза.

Таблица 6

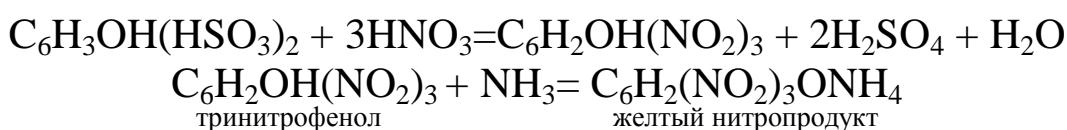
Шкала обеспеченности почв нитратным азотом и определение потребности растений в азотных удобрениях

Класс	Содержание N-NO ₃ , мг/кг	Обеспеченность азотом	Потребность в азотном удобрении		
			Зерновых	Пропашных	Овощей
1	< 4,0	Очень низкая	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая
2	4,1–8,0	Низкая	Высокая		
3	8,1–12,0	Средняя	Средняя		
4	12,1–16,0	Повышенная	Отсутствует		
5	16,1–20,0	Высокая		Отсутствует	Средняя
6	20,1–24,0	Очень высокая			Отсутствует
7*	24,1–28,0				
8*	> 28				

Здесь и далее: 7-й и 8*-й классы только для овощных культур.*

Определение нитратного азота в почвах дисульфоференоловым методом (в модификации С.Л. Иодко, И.Н. Шаркова)

Принцип метода. Метод основан на измерении интенсивности желтой окраски, которая образуется при взаимодействии нитратов с дисульфоференоловой кислотой при последующей обработке смеси раствором щелочи или аммиака.



Нитраты обладают большой подвижностью, которая служит причиной их исчезновения из пахотного горизонта в условиях обильного увлажнения. Нитраты извлекают из почвы водой. В водной вытяжке NO_3^- ион определяют колориметрически с дисульфоференоловой кислотой по желтой окраске, образующейся в щелочной среде.

Цель работы: научиться определять содержание нитратного азота в почве.

Материалы и оборудование: конические колбы на 250 мл, пробирки на 50 мл, мерные колбы на 50 мл, дисульфоференоловая кислота, 7 % раствор NaOH, нитрат калия (ч.д.а.), фильтровальная бумага, фотоколориметр, лакмусовая бумага, аналитические и технические весы, водяная баня, ротатор.

Ход определения

Навеску 10 г почвы помещают в колбу на 250 мл и приливают 50 мл 0,03 н. раствора сульфата калия, взбалтывают 3 минуты и фильтруют суспензию через бумажный складчатый фильтр. Пипеткой берут 2,5–3 мл фильтрата в пробирку и выпаривают досуха в сушильном шкафу при температуре 180–200 °С в течение 40–60 мин. Затем штативы с пробирками вынимают из шкафа и в горячие пробирки добавляют по 0,5 мл дисульфофеноловой кислоты. В горячих пробирках кислота разогревается и растворяет сухой остаток практически полностью. Далее пипеткой добавляют 25 мл 7 % раствора NaOH. Через 15–20 минут, когда растворы остывают, приступают к колориметрированию, используя кюветы толщиной 1 см. Жидкость при этом окрашивается в желтый цвет. Оптическую плотность определяют на фотоэлектроколориметре с синим светофильтром (420 нм).

Построение калибровочного графика: для приготовления образцового раствора нитрата используют ч.д.а. KNO₃. На аналитических весах отвешивают 0,722 г KNO₃, переносят в мерную колбу на 1 л, растворяют в дистиллированной воде, доводят до метки (1 мл раствора содержит 0,01 мг NO₃⁻). Затем 20 мл раствора помещают в колбу на 1 л, т. е. разбавляют в 50 раз. Рабочий раствор содержит 0,002 мг NO₃⁻ в 1 мл. Выпаривают в пробирках отмеренное количество образцового раствора (табл. 7).

Пробирки вынимают из сушильного шкафа, когда в них остается еще несколько капель жидкости. После охлаждения проводят такую же обработку, как описано выше. Окрашенные растворы в мерных колбах колориметрируют. По полученным данным строят график, который затем используется для определения содержания нитратного азота в почвенных образцах.

Таблица 7
Приготовление шкалы образцовых растворов KNO₃

Номер чашки	Объем образцового раствора нитрата, мл	Количество азота в образцовом растворе, мг
1	2	0,004
2	5	0,010
3	10	0,020
4	20	0,040
5	30	0,060

Для оценки обеспеченности почв нитратным азотом и установления потребности культур в азотных удобрениях рекомендуется использовать градации (см. табл. 6).

После расчетов:

- ✓ Оцените содержание нитратного азота в почвенном образце по предлагаемым градациям.
- ✓ Объясните полученный результат, предложите мероприятия, способствующие накоплению нитратного азота в почве.

3.2. Методы снижения содержания нитратов в растениеводческой продукции

Нитратный азот является одним из главных источников азотного питания растений. При избыточном поступлении нитраты не успевают усваиваться и накапливаются в растении в значительных количествах. Попадая с растительной продукцией в организм человека, нитраты восстанавливаются до нитритов. Это приводит к образованию в организме метгемоглобина, нарушению транспортной функции крови, угнетению нервной системы и тканевого дыхания. Нитриты обуславливают образование нитрозосоединений, которые обладают канцерогенными свойствами.

Содержание нитратного азота в растениеводческой продукции изменяется в широких пределах под действием разных факторов, среди которых значительная роль принадлежит уровню азотного питания. При внесении необоснованно высоких доз азотных удобрений растения не способны использовать весь нитратный азот для биосинтеза органического вещества. Нитраты могут накапливаться в больших количествах. Установлены предельно допустимые концентрации нитратов в растениеводческой продукции (табл. 8).

При необходимости применения высоких доз азота их следует вносить дробно (в несколько приемов), это позволяет снизить содержание нитратов примерно в 2 раза [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Таблица 8
**Допустимые уровни содержания нитратов
в растениеводческой продукции**

Пищевая продукция	N-NO ₃ , мг на 1 кг сырой массы	
	Открытый грунт	Закрытый грунт
1	2	3
Картофель	250	—
Капуста белокочанная ранняя	900	—
Капуста белокочанная поздняя	500	—

Окончание табл. 8

1	2	3
Морковь ранняя	400	—
Морковь поздняя	250	—
Томаты	150	300
Огурец	150	400
Свекла столовая	1400	—
Лук репчатый, луковица	80	—
Лук зеленый	600	800
Листовые овощи	2000	3000
Арбузы	60	—
Перец сладкий	200	400
Кабачки	400	—
Яблоки	60	—

Предотвращает повышенное накопление нитратов сбалансированное внесение азотных удобрений с фосфорными и калийными. Этим достигается снижение концентрации нитратов в 1,5 раза.

Большое значение имеет оптимальная обеспеченность микроэлементами. Они входят в состав ферментов, которые участвуют в реакции восстановления нитратов до аммиака, и это существенно снижает концентрацию нитратов.

Большинство сельскохозяйственных культур интенсивно используют азот в первой половине вегетации. Отсюда следует, что азотные подкормки целесообразны именно в первой половине вегетации. Более поздние подкормки, как правило, затягивают вегетацию растений, нитратный азот используется частично, что приводит к избыточному его накоплению.

Количество нитратов в растениеводческой продукции может быть значительно снижено при совместном применении органических и минеральных удобрений. Органические и минеральные удобрения стимулируют развитие почвенной микрофлоры, которая поглощает избыток азота и обусловливает равномерное поглощение азота в течение вегетации.

Существенно различаются между собой сорта культур. Поздние сорта меньше накапливают свободных нитратов, чем ранние.

Значительное влияние на степень накопления нитратов растениями оказывает освещенность. Особое значение это имеет для овощных культур в закрытом грунте. Но и в открытом грунте на за-

тененных и загущенных посевах концентрация нитратов увеличивается в 1,5–2 раза.

При определении доз азотных удобрений необходимо учитывать уровень почвенного плодородия. Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН предложена формула [Назарюк, 2007]:

$$Д_N = 0,01 \cdot B \cdot Y - K_1 \cdot N\text{-NO}_3 \cdot N_{\text{опр}} \cdot T/K_2 + K_3,$$

где $Д_N$ – доза азота удобрений, кг/га;

B – вынос азота, кг/10 т продукции;

Y – планируемый урожай, т/га;

K_1 – коэффициент использования азота из исходных запасов нитратов в почве (для капусты, томата, моркови и свеклы $K_1 = 0,8$, для других культур $K_1 = 0,4$);

$N\text{-NO}_3$ – исходные запасы нитратного азота в почве, кг/га;

$N_{\text{опр}}$ – усвоение потребления азота растениями в результате минерализации гумуса и растительных остатков, кг/га в месяц (для капусты – 40, для томатов, моркови и свеклы – 20, огурца, лука и картофеля – 15 кг/га в месяц);

T – период поглощения азота растениями, месяц;

K_2 – коэффициент использования азота из удобрений (для почв, содержащих менее 1 % гумуса, для капусты, томата, моркови, столовой свеклы и картофеля $K_2 = 0,6$, для огурца и лука $K_2 = 0,4$);

K_3 – коэффициент использования экстра-азота (для почв, содержащих менее 1 % гумуса $K_3 = 0$, для почв с содержанием гумуса 3 % и более $K_3 = 0,2$).

Основные требования по применению удобрений под овощные культуры:

– разовая доза под большинство культур и картофель не должна превышать 90 кг/га, под капусту – 150 кг/га;

– не допускается использование слежавшихся туков. Распределение удобрений по поверхности почвы должно быть равномерным, обеспечивающим равноценное развитие растений на всей площади удобренного массива;

– для некорневых азотных подкормок использовать мочевину не позже месячного срока до уборки урожая;

– предусматривать применение органических удобрений;

– регулировать почвенную влажность поливами;

– при повышенном содержании в растениях нитратного азота в течение вегетации смещать сроки уборки на возможно более поздний период.

3.3. Оценка обеспеченности почв фосфором и потребности растений в фосфорных удобрениях

Определение в почве подвижных фосфатов

Фосфор является одним из основных элементов питания растений. Его содержание в растениях значительно ниже, чем азота, калия и кальция. Недостаточное содержание в почве усвояемых фосфатов обуславливает низкие урожаи. В отличие от минеральных форм почвенного азота, которые неустойчивы и легко теряются в результате улетучивания и вымывания, почвенные фосфаты весьма устойчивы. Причиной недостатка фосфора для растений является низкая растворимость фосфорных соединений.

Недостаток фосфора вызывает последствия, которые аналогичны последствиям недостатка азота. Стебли бывают тонкими, листья мелкими, боковое ветвление ограниченное. Развитие почек весной задерживается, цветение скучное, происходит преждевременное опадение листьев. Так же, как и азот, фосфор реутилизируется в растении. Он оттекает из взрослых листьев в молодые.

Источником минерального фосфора служат минералы апатит и фосфорит. При разложении минералов почвенный раствор вступает в контакт с фосфором, и если в этом растворе заметно не достает фосфора, то последний растворяется. Минеральные формы находятся преимущественно в виде соединений ортофосфорной кислоты с ионами кальция, магния, железа и алюминия. Минеральные фосфатные ионы адсорбируются на положительно заряженных участках почвенного поглощающего комплекса.

Уровень фосфорного питания растений зависит от растворимости минеральных форм фосфора. Характер реакции почвенного раствора обуславливает преобладание одного из трех ионов фосфора. В интервале кислых и нейтральных почв преобладает монофосфат – одновалентный ортофосфат – H_2PO_4^- , в щелочной среде – при pH выше 7,2 доминирует двухвалентный ион HPO_4^{2-} . Ион PO_4^{3-} появляется при pH выше 10 [Рудой, 2003]. Наиболее легко адсорбируется растениями монофосфат. Количество фосфора в почвенном растворе (H_2PO_4), как правило, не превышает 1 кг/га пахотного слоя почвы.

Лучше всего растения усваивают водорастворимые фосфаты. Но в почвах обычно их так мало, что по их количеству нельзя судить о степени обеспеченности растений фосфором. В связи с этим опреде-

ление количества фосфатов, переходящих в водную вытяжку из почвы, не дает правильного ответа на то, сколько фосфора находится в почве в форме, доступной для растений. Для оценки уровня обеспеченности растений фосфором используются показатели экстракции фосфатов из почвы различными растворителями: кислотными, щелочными разной концентрации, а также растворами солей, которые извлекают из почвы водорастворимые фосфаты и часть соединений фосфора, не растворяющихся в воде.

Агрохимической службой принято использовать: на нейтральных почвах (черноземного типа) 0,5 н. уксуснокислую вытяжку по Чирикову, на почвах элювиального ряда (серые лесные, дерново-подзолистые) – 0,2 н. солянокислую вытяжку по Кирсанову, на карбонатных почвах (черноземах южных, обыкновенных, каштановых почвах) в 1 % растворе углекислого аммония по Мачигину.

При расчете доз фосфорных удобрений необходимо учитывать обеспеченность почвы доступными для растений формами фосфатов. Полученные результаты оценивают, пользуясь местными градациями к методам определения подвижных фосфатов в почве по Кирсанову, Чирикову, Мачигину (табл. 9).

Определение подвижных фосфатов по методу Чирикова

Принцип и химизм метода определения подвижных фосфатов по методу Чирикова основан на извлечении подвижных соединений фосфора из почвы раствором уксусной кислоты 0,5 н. концентрации, при отношении почвы к раствору 1 : 25 и последующем определении фосфора в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на фотоэлектроколориметре.

Таблица 9

Содержание подвижного фосфора в почвах разных почвенно-климатических зон

Класс обеспеченности	Почвенно-климатические зоны	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы		
		по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
1	2	3	4	5
1	Канская, Красноярская, Минусинская лесостепи с прилегающей южной тайгой и степью	< 15	< 10	< 1
2		15–20	10–15	1–2
3		20–25	15–20	2–3
4		25–30	20–25	3–4,5
5		30–35	25–30	4,5–6

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5
6		35–40	30–35	6–8
7*		40–45	35–40	8–10
8*		> 45	> 40	> 10
1	Ачинско-Боготольская, Чулымо-Енисейская лесостепи и прилегающая южная тайга	< 5	< 2,5	< 1
2		5–10	2,5–5	1–2
3		10–15	5–10	2–3
4		15–20	10–15	3–4,5
5		20–25	15–20	4,5–6
6		25–30	20–25	6–8
7*		30–35	25–30	8–10
8*		> 35	> 30	> 10

Почвенные фосфаты, взаимодействуя с молибденовокислым аммонием в сильнокислой среде (в присутствии аскорбиновой кислоты или хлористого олова), образуют комплексную соль голубой окраски. Интенсивность окраски ее пропорциональна содержанию подвижных фосфатов.

Цель работы: научиться определять подвижные фосфаты в почвах черноземного типа по методу Чирикова.

Материалы и оборудование: весы технические; колбы на 250 и 50 мл; воронки; пипетки; бумажные фильтры; почвенные образцы; реактивы для выделения подвижных фосфатов: 0,5 н. уксуснокислая вытяжка, реактив «С» по Чирикову, фотоэлектроколориметр.

Ход определения

Навеску почвы 4 г переносят в коническую колбу на 250 мл, приливают 100 мл 0,5 н. уксусной кислоты, взбалтывают 2 ч на роторе. Суспензию фильтруют через складчатый фильтр, 5–10 мл фильтрата переносят в мерную колбу на 50 мл, доливают до метки реактивом «С» по Чирикову, тщательно перемешивают и выдерживают 10 мин для стабилизации окраски, затем определяют оптическую плотность окрашенного раствора на фотоэлектроколориметре.

Построение графика и расчеты. Для построения калибровочного графика в мерные колбы на 100 мл берут возрастающие количества (5, 10, 15, 20, 25, 30 мл) стандартного раствора КНРО₄, доливают до метки реактивом «С» по Чирикову, встrijхивают и через 10 мин определяют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре.

По полученным результатам строят график, по которому, согласно оптической плотности раствора, находят объем стандартного раствора и рассчитывают содержание подвижных фосфатов по формуле

$$P_2O_5 = a \cdot b \cdot V_1 \cdot 100/V_2 \cdot C,$$

где a – отсчет по графику, мл;

b – титр стандартного раствора;

V_1 – объем уксусной кислоты, взятый для приготовления вытяжки, мл;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

V_2 – объем вытяжки, взятый для определения оптической плотности, мл;

C – навеска почвы, г.

Определение подвижных фосфатов по методу Кирсанова

Принцип и химизм метода основан на извлечении соединений фосфора из почвы раствором соляной кислоты 0,2 н. концентрации, при отношении почвы к раствору 1 : 5 с последующим определением фосфора в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на фотоэлектроколориметре.

Цель работы: научиться определять подвижные фосфаты в почвах элювиального ряда по методу Кирсанова.

Материалы и оборудование: весы технические; колбы на 250 и 50 мл; воронки; пипетки; бумажные фильтры; почвенные образцы; реактивы для выделения подвижных фосфатов: 0,2 н. солянокислая вытяжка, реактив «С» по Кирсанову, фотоэлектроколориметр.

Xод определения

Навеску почвы 5 г переносят в коническую колбу емкостью 100 мл, заливают 25 мл 0,2 н. соляной кислотой, взбалтывают 1 мин и отстаивают 15 мин, после чего вытяжку фильтруют. 1–2 мл прозрачного фильтрата переносят в мерную колбу на 50 мл и доливают до метки реактивом «С» по Кирсанову. Содержимое колбы взбалтывают и через 10 мин определяют оптическую плотность окрашенного раствора на фотоэлектроколориметре.

Построение графика и расчеты. Для построения калибровочного графика в мерные колбы на 100 мл берут возрастающие количества (5, 10, 15, 20, 25, 30 мл) стандартного раствора КНРО₄. Доливают до метки реагентом «С» по Кирсанову, встряхивают и через 10 минут определяют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре. По полученным результатам строят график, по которому, согласно оптической плотности раствора, находят объем стандартного раствора и рассчитывают содержание подвижных фосфатов по формуле

$$P_2O_5 = a \cdot b \cdot V_1 \cdot 100 / V_2 \cdot C,$$

где а – отсчет по графику, мл;

б – титр стандартного раствора;

V₁ – объем соляной кислоты, взятый для приготовления вытяжки, мл;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

V₂ – объем вытяжки, взятый для определения оптической плотности, мл;

C – навеска почвы, г.

Обсуждение результатов. При выполнении лабораторной работы каждый студент получает индивидуальный почвенный образец. На основании полученных результатов:

- ✓ рассчитайте содержание почвенных фосфатов в почве;
- ✓ оцените обеспеченность почвы фосфором по местным градациям;
- ✓ оформите в рабочей тетради выводы и обоснуйте полученные результаты.

3.4. Оценка обеспеченности почв калием и потребности растений в калийных удобрениях

Калий – один из главных и незаменимых питательных элементов растений. Его содержание в растениях значительно больше, чем других питательных веществ, извлекаемых из почвы, за исключением азота. Только при достаточном его содержании в растительных клетках могут осуществляться биохимические и физиологические процессы.

Развитие признаков недостатка калия связано с поведением калия внутри растения. Голодание растений обнаруживается тогда, когда содержание калия в них понижается в 3–5 раз относительно нормального. Недостаток калия затягивает развитие культур и их созревание, обостряется конкуренция между компонентами травостоя. Поэтому калий является одним из основных факторов, определяющих ботанический состав и долговечность злаковых многолетних траво-

стоев. Требовательность растений к калийному питанию в различные периоды их роста и развития неодинакова.

Резервом постоянного возобновления доступных для растений форм калия являются необменные формы. Они весьма значительны. В черноземных почвах в корнеобитаемом слое их запас оценивается до 7 т/га. К резерву относится также калий органического вещества. Количество его невелико – около 70 кг/га в дерново-подзолистых и серых лесных почвах и чуть более 300 кг/га в черноземах. Всего в потенциальном резерве сосредоточено 50–80 % от общего запаса калия. Он представлен в механических элементах крупнее 0,001 мм. В их состав входят полевые шпаты и слюды. Это труднодоступные ресурсы для питания растений [Рудой, 2008].

Наиболее доступен растениям калий илистый фракции, в которой он содержится преимущественно в *обменном состоянии*. Именно в этой фракции высокое содержание слоистых глинистых минералов.

Определение обменно-поглощенного калия проводится в тех же вытяжках, что и фосфор: по методу Чирикова и по методу Кирсанова. Методы основаны на вытеснении калия из почвенного поглощающего комплекса каким-либо катионом, например H^+ , в карбонатных почвах определение обменного калия проводится в 1 %-й углеаммиачной вытяжке по Мачигину.

Принцип метода. При обработке почвы 0,5 н. раствором уксусной кислоты при соотношении почвы к раствору 1 : 2,5, обменный калий вытесняется ионами водорода.

Обеспеченность почвы обменным калием оценивается по местным градациям (табл. 10).

Таблица 10

Группировка почв по содержанию обменного калия в условиях Красноярского края

Класс обеспеченности	K ₂ O, мг/100 г почвы			Обеспеченность почв калием для разных групп культур		
	По Кирсанову	По Чирикову	По Мачигину	Зернобобовые	Многолетние травы	Овощи, плодово-ягодные
1	2	3	4	5	6	7
1	< 5	< 5	< 10	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
2	5–10	5–7	10–20	Низкая	Низкая	Очень низкая
3	10–15	7–9	20–30	Средняя	Низкая	Очень низкая

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6	7
4	15–20	9–11	30–40	Повышенная	Средняя	Низкая
5	20–30	11–15	40–60	Высокая	Повышенная	Средняя
6	30–40	15–20	60–80	Очень высокая	Высокая	Повышенная
7	40–50	20–25	80–100	Очень высокая	Очень высокая	Высокая
8	> 50	> 25	> 100	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая

На основе данных агрохимических картограмм:

- ✓ перенесите данные карточки (выкопировки) на кальку, объедините элементарные участки в агрохимические контуры, передавая цветовую характеристику в соответствии со шкалой;
- ✓ оцените содержание обменного калия по предлагаемым градациям;
- ✓ дайте ответы на контрольные вопросы.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. К макроэлементам относятся элементы, содержание которых в растениях:

- а) выше сотых долей процента;
- б) выше целых процентов;
- в) от сотых долей до целых процентов.

2. К микроэлементам относят элементы, содержание которых в растениях ниже:

- а) целого процента;
- б) сотой доли процента;
- в) тысячной доли процента.

3. Химический элемент, не учитываемый в зольном составе растений:

- а) азот;
- б) фосфор;
- в) калий;
- г) молибден.

4. Удобрения, из состава которых анион поглощается больше, чем катион, являются:

- а) физиологически кислыми;
- б) физиологически щелочными.

5. Критический период питания растений – это:

а) период вегетации, в который дефицит какого-либо элемента питания, несмотря на ограниченные размеры потребления, вызывает резкое ухудшение роста и развития растений;

б) начальный период вегетации;

в) период вегетации, в который растение нуждается в максимальном количестве питательных элементов;

г) период от бутонизации до цветения.

6. Элемент питания, усиливающий развитие вегетативных органов растения:

- а) N;
- б) Fe;
- в) P;
- г) Mn.

7. Элементы, участвующие в процессе фотосинтеза:

- а) N;
- б) K;
- в) Ca;
- г) Mg.

8. Калий поступает в растение в виде:

- а) катионов;
- б) анионов;
- в) анионов и катионов;
- г) целой молекулы.

9. Азот в растение в виде:

- а) катионов и анионов;
- б) катионов;
- в) анионов;
- г) в виде целой молекулы соли.

10. Элемент питания, участвующий в делении клеток верхушечной меристемы:

- а) K;
- б) Ca;
- в) Mo;
- г) B.

11. Основные источники калия в почве:

- а) гумус;
- б) микроорганизмы;
- в) зола растений;
- г) минералы.

12. Процесс химического поглощения фосфора – это:

- а) образование растворимых соединений;
- б) поглощение фосфора микроорганизмами;
- в) образование труднорастворимых соединений.

13. Ингибитор нитрификации применяется с целью:

- а) временного торможения нитрификация аммонийных удобрений и мочевины;
- б) увеличивается поступление нитратного азота;
- в) усиливается процесс аммонификации;
- г) повышается фиксация молекулярного азота.

14. Валового азота больше всего в почве:

- а) лугово-черноземной;
- б) темно-серой лесной;
- в) подзолистой;
- г) черноземной.

15. Самое интенсивное вымывание нитратов из почвы наблюдается в зоне:

- а) степь;
- б) лесостепь;
- в) подтайга;
- г) сухостепь.

16. Наиболее подвижная форма азота:

- а) нитратная;
- б) аммонийная;
- в) амидная;
- г) гидролизуемая.

17. Процесс симбиотической фиксации азота микроорганизмами:

- а) клубеньковые бактерии;
- б) ассоциативные;
- в) свободноживущие;
- г) факультативные.

18. Процесс поглощения калия микроорганизмами:

- а) иммобилизация;
- б) необменная фиксация;
- в) сорбция;
- г) адсорбция.

19. Наиболее подвижная форма калия в почве:

- а) валовой;
- б) необменно-фиксированный;
- в) обменно-поглощенный;
- г) зольный.

20. Основоположник отечественной школы агрохимиков:

- а) Д.И. Менделеев;
- б) Д.Н. Прянишников;
- в) А.Т. Болотов;
- г) П.А. Костычев.

21. Элементы питания, участвующие в передаче наследственной информации:

- а) N;
- б) P;
- в) K;
- г) Mg.

22. Элемент питания, способствующий накоплению углеводов:

- а) K;
- б) Ca;
- в) Fe;
- г) S.

23. Основной источник азота в почве:

- а) органическое вещество;
- б) гумус;
- в) азот воздуха;
- г) микроорганизмы.

24. Какая форма азота относится к минеральной:

- а) валовая;
- б) аммонийная;
- в) легкогидролизуемая;
- г) трудногидролизуемая.

25. Основной источник фосфора в почве:

- а) органическое вещество;
- б) минералы;
- в) осадки;
- г) удобрения.

26. Критический период растений относительно минерального питания – это:

- а) фаза максимального потребления питательного элемента;
- б) фаза начального формирования органов растений.

27. Тестовый реагент для тканевой диагностики обеспеченности растений азотом:

- а) дифениламин в серной кислоте;
- б) бензидин в комплексе с молибдатом аммония и ацетатом натрия;
- в) дипикриламинат магния в соляной кислоте.

28. Азотное голодание растений проявляется окраской листьев:

- а) бледно-зеленой или желтой (хлороз);
- б) темно-зеленой и фиолетовой;
- в) краевым ожогом.

29. Фосфорное голодание растений проявляется окраской листьев и стеблей:

- а) бледно-зеленой или желтой (хлороз);
- б) темно-зеленой и фиолетовой;
- в) краевым ожогом.

30. Калийное голодание растений проявляется окраской листьев:

- а) бледно-зеленой или желтой (хлороз);
- б) темно-зеленой и фиолетовой;
- в) краевым ожогом.

4. АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

К агрохимическим показателям почвы относятся: содержание гумуса, сумма обменных оснований, емкость катионного обмена, рН, степень насыщенности основаниями, содержание основных элементов минерального питания и др. Используя эти показатели можно дать оценку потенциальному и эффективному плодородию почвы и дать рекомендации по его повышению с применением удобрений и мелиорантов. Агрохимические показатели можно оценить по следующим градациям:

1. Градации содержания гумуса в почве, %:

< 2 – очень низкое;

2–4 – низкое;

4–6 – среднее;

6–10 – высокое;

> 10 – очень высокое.

2. рН – десятичный отрицательный логарифм концентрации ионов водорода в граммах на 1 л раствора.

Кислотность почв – способность почвы подкислять почвенный раствор, обусловленная наличием в почве органических и минеральных кислот, кислых и гидролитически кислых солей, а также обменных ионов H^+ и Al^{3+} . От кислотности зависит величина урожайности сельскохозяйственных культур, качество продукции, эффективность минеральных и органических удобрений. Большинство сельскохозяйственных растений предпочитает слабокислую ($pH = 5,1–5,5$), близкую к нейтральной ($5,6–6,0$) и нейтральную ($6,1–7,1$) реакцию среды. Градации кислотности и щелочности почв представлены в таблице 11.

Таблица 11

Уровни кислотности и щелочности почв

Показатель	Реакция среды
1	2
pH_{KCl} :	
< 4,5	Сильнокислая
4,6–5,0	Среднекислая
5,1–5,5	Слабокислая
5,6–6,0	Близкая к нейтральной
6,1–7,1	Нейтральная
pH_{H_2O} :	

Окончание табл. 11

1	2
7,2–7,5	Слабощелочная
7,6–8,5	Щелочная
> 8,5	Сильнощелочная

Пахотные почвы земледельческой части Красноярского края в основном имеют реакцию почвенного раствора, близкую к нейтральной (средневзвешенное значение рН равно 5,9) [Шпедт, Ульянова, Борцов, 2008].

3. Сумма обменных оснований (S) – это сумма всех катионов за исключением водорода и алюминия, выраженная мг·экв/100 г почвы. Оценочная шкала данного показателя следующая:

- < 10 – низкая;
- 10–20 – средняя;
- 20–40 – высокая;
- > 40 – очень высокая.

4. Емкость катионного обмена (ЕКО) – максимальное количество обменных катионов в составе ППК, выражается в мг·экв/100 г почвы. В состав ППК входят следующие катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} . Как правило, чем выше ЕКО, тем выше потенциальное плодородие почвы.

5. Степень насыщенности основаниями (V) – отношение суммы обменных оснований к емкости катионного обмена. Выражается в процентах. Почвы считаются насыщенными основаниями, если $V > 80\%$ и ненасыщенными при $V < 80\%$. Данная величина используется для определения нуждаемости почв в известковании (табл. 12).

6. Содержание в почве нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия. Оценить почву по содержанию питательных элементов можно, используя таблицы 6, 9, 10.

Таблица 12

Степень нуждаемости почв в известковании

Степень нуждаемости	рН _{сол}	V, %
Сильная	< 4,5	< 50
Средняя	4,6–5,0	51–70
Слабая	5,1–5,5	71–80
Отсутствует	> 5,5	> 80

Пример оформления работы по агрохимической характеристике чернозема выщелоченного (табл. 13)

Содержание гумуса в пахотном слое чернозема выщелоченного варьирует от среднего до высокого. Емкость катионного обмена указывает на высокую степень насыщенности почвы основаниями ($V > 80\%$). Почва не нуждается в известковании. Реакция среды – нейтральная и близкая к нейтральной. Обеспеченность чернозема выщелоченного обменным калием повышенная (9,8–12,1 мг/100 г), подвижным фосфором – варьирует от низкого до очень низкого значения (9,5–14,5 мг/100 г), а нитратным азотом – от низкого до повышенного (0,95–1,41 мг/100 г).

Таблица 13
**Агрохимическая характеристика чернозема
выщелоченного ОПХ «Минино»**

Культура	Гумус, %	рН (KCL)	EKO	H _r	V, %	N-NO ₃ мг/100 г	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг-экв/100 г	мг/100 г			мг/100 г	мг/100 г
Пар сидеральный	5,5	5,9	51,0	2,1	85	0,95	14,1	10,5
Пшеница	6,3	6,1	54,0	2,3	82	1,41	13,8	11,0
Ячмень	6,9	6,2	56,0	2,3	86	1,32	13,1	9,8
Кукуруза	7,1	6,1	58,0	2,1	91	0,98	14,5	11,8
Пшеница	5,1	6,0	53,0	2,6	87	1,08	9,5	12,1

Вывод. Потенциальное плодородие чернозема выщелоченного ОПХ «Минино» по содержанию гумуса, ЕКО, S – высокое, а эффективное плодородие по содержанию нитратного азота и подвижного фосфора – низкое, обменного калия – высокое. Таким образом, данная почва нуждается в высоких дозах азотных и фосфорных удобрений.

Задание для самостоятельной работы

Описать агрохимические свойства почвы, предложенной преподавателем, и сделать заключение об ее эффективном и потенциальному плодородии и способах его повышения.

5. РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

Основой растительной диагностики служит положение о том, что на растение действуют только те элементы, которые в него поступили. Применение растительной диагностики дает возможность: осуществлять контроль и регулирование питания растений по фазам их роста и развития; выяснить необходимость подкормок и ориентировочные нормы питательных веществ; оценить правильность метода расчета доз удобрений на заданную продуктивность и систему удобрений в целом. Недостатком растительной диагностики является то, что она применима только на вегетирующих растениях, что исключает возможность организации системы удобрения культуры до посева. Существуют различные методы растительной диагностики: визуальный, инъекции и опрыскивания, морфобиометрический, химический. Наиболее простой и быстрый способ – визуальный. По внешним признакам состояния растений устанавливается недостаток или избыток питательных элементов. Он требует комплексной оценки роста и развития растений, но усложняется тем, что внешние признаки недостатка элементов питания совпадают с признаками повреждения растений вредителями и болезнями.

Наибольшее распространение получил химический метод, который включает листовую диагностику и тканевую экспресс-диагностику, где определение содержания элементов питания проводится с помощью химических реактивов в индикаторных органах растений.

5.1. Методика проведения растительной диагностики

Для осуществления растительной диагностики вначале проводят отбор и подготовку проб растений для анализа. Взятие проб растений является ответственным моментом. Общее требование – это унификация техники отбора, обработки и хранения проб: взятие со всех растений строго одних и тех же частей по их ярусности, возрасту, расположению на растении, отсутствию заболеваний и т. д. Во всех случаях отбор растений должен проводиться в утренние часы (с 8 до 11), когда интенсивность транспирации невелика. Отбирают по диагонали поля 100–120 растений с корнями из 20–30 точек. Из общего числа растений составляется средняя пробы в количестве 20 продуктивных растений. Образцы растений перед отправкой в лабораторию

упаковывают таким образом, чтобы избежать потери их влаги: это необходимо как для учета их сырой массы, так и для анализа неорганических соединений в свежих образцах, т. е. необходимо исключить их ферментативные изменения при завядании. Желательно иметь портативные холодильные сумки для сохранения свежих проб для их доставки к месту анализа. Чтобы избежать завядания растений, все операции по подготовке их к анализу проводят быстро. Если проб много, то необходимо держать их в холодильнике и обрабатывать постепенно. Пробы делят на образцы для валового анализа (листовая диагностика) и образцы для тканевой экспресс-диагностики. Анализ неорганических соединений (тканевая диагностика) проводится немедленно в свежих образцах. Для валового анализа применяют консервацию образцов, из которых позже готовят вытяжки. Для консервации выдерживают пробы в термостате в течение 30–40 мин при температуре около 80 °С и затем досушивают на воздухе, избегая прямого солнечного света. Затем образцы растений измельчают и хранят в сухом месте, желательно в банках с притертymi пробками.

5.2. Метод листовой диагностики

Метод листовой диагностики используется на полевых, кормовых, овощных и садовых культурах. Этим методом в растениях определяется общее содержание питательных элементов и их соотношение в индикаторных органах.

Для каждого вида растений характерен определенный химический состав. Установлены оптимальные уровни содержания элементов питания в растениях и их листьях в отдельные периоды вегетации, обеспечивающие благоприятные условия роста и формирование высокого урожая (табл. 14).

При недостатке какого-либо питательного элемента в доступной форме его концентрация в растениях по сравнению с оптимальным уровнем снижается, а при избытке повышается. Чем сильнее отличается химический состав растений от оптимального, тем в большей степени проявляются нарушения условий питания и потребность в их корректировке с помощью удобрений [Муравин, 2003].

Таблица 14

**Оптимальное валовое содержание азота, фосфора
и калия в растениях, %
(фрагмент таблицы по данным Е.А. Муравина, 2003)**

Культура	Фаза развития	Часть растения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	Кущение	Надземная часть	4,0–5,9	0,44–0,65	3,3–4,2
	Трубкование	Листья	3,8–5,0	0,40–0,52	2,5–3,3
	Колошение-цветение	Листья	3,0–3,6	0,22–0,39	2,6–3,2
Яровая пшеница	Кущение	Надземная часть	4,0–5,5	0,39–0,57	3,3–4,4
	Трубкование	Листья	3,5–4,4	0,39–0,52	2,9–3,7
	Колошение-цветение	Листья	2,9–3,0	0,35–0,44	2,5–3,3
Ячмень	Кущение	Надземная часть	4,7–5,0	0,52–0,78	3,3–4,2
	Трубкование	Листья	4,2–4,7	0,42–0,62	2,9–4,0
	Колошение-цветение	Листья	3,0–3,5	0,30–0,44	2,3–2,7
Кукуруза	Всходы	Надземная часть	4,0–4,6	0,43–0,52	4,6–5,2
	3-5 листьев	То же	3,0–3,6	0,30–0,65	2,8–3,3
	6-10 листьев	Листья	3,8–4,0	0,35–0,57	3,2–4,2
	Выметывание метелки	Листья	3,5–4,0	0,30–0,52	3,3–4,2

Примечание. Урожайность зерна злаков > 4 т/га, зерна кукурузы > 5, ее зеленой массы > 50.

Важно соотношение между элементами, для зерновых культур соотношение между N : P : K, которое обеспечивает максимальную продуктивность, составляет 5 : 1 : 5,5.

Эмпирические коэффициенты потребности в удобрении приведены в таблице 15 [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Степень нуждаемости растений в элементах питания определяют по величине отношения оптимальной концентрации элемента к фактической, установленной анализом по формуле

$$V = (\mathcal{E}_{\text{опт}}, \%) : (\mathcal{E}_{\text{факт}}, \%),$$

где V – показатель нуждаемости в удобрениях;

$\mathcal{E}_{\text{опт}}$ – оптимальная концентрация элемента в индикаторном органе, %;

$\mathcal{E}_{\text{факт}}$ – фактическая концентрация элемента, %.

Таблица 15

**Показатели нуждаемости злаковых культур в удобрениях
(по данным Н.Г. Рудого, 2007)**

Степень нуждаемости в удобрениях, отношение $\mathcal{E}_{\text{опт}} \text{ к } \mathcal{E}_{\text{факт}}$	Нуждаемость в удобрении	Сомножитель для минимальной дозы
$< 1,05$	отсутствует	—
$1,06\text{--}1,50$	средняя	$1,1\text{--}1,5$
$> 1,50$	сильная	$1,6\text{--}2,0$

Минимальная доза для зерновых и зернобобовых – 30 кг/га, для пропашных и овощных культур – 45 к/га.

$$Д = Н \cdot К,$$

где $Д$ – доза элемента питания, кг/га;
 $Н$ – минимальная доза д.в., кг/га;
 $К$ – сомножитель для минимальной дозы.

5.3. Тканевая экспресс-диагностика

Метод тканевой экспресс-диагностики разработан В.В. Церлинг и предназначен для быстрого ориентировочного контроля питания растений в ранние фазы развития, когда корректировка обнаруженного дефицита элемента наиболее эффективна. Это полуколичественный метод определения концентрации неорганических форм азота, фосфора и калия, основанный на взаимодействии с различными химическими реактивами и получении цветного окрашивания срезов свежих растений, сравниваемого по интенсивности окраски с соответствующей шкалой и оцениваемого в баллах.

Чтобы сделать срез растений, на каждом стебле средней пробы выше второго узла на 10–15 мм под углом 45° бритвенным лезвием вырезается пластинка стебля толщиной 1,5–2 мм. Срезы кладутся для определения нитратов на предметное стекло, для определения фосфатов и калия на кусочек фильтровальной бумаги, положенной на стекло. Для получения сока или вытяжки растений черешки каждой пробы обтирают вдоль стебля и для получения сока используют половину или четверть части. Кусочки в 2–4 мм укладывают в пресс, сдав-

ливают, выжимают сок и сливают его в углубления капельной пластиинки (палетки). Для осветления окрашенного сока некоторых растений приготавливают вытяжку водную из листьев с активированным углем, который поглощает из вытяжки красящие вещества. Для этого берут среднюю пробу весом 2 г тонко изрезанных листьев, добавляют к ним 0,2-0,5 г активированного угля 6 мл воды и тщательно растирают в маленькой фарфоровой ступке. Затем растертую массу заворачивают в плотную ткань и прессом выжимают из нее вытяжку. Можно пропускать растертую массу через воронку с бумажным фильтром. Полученная вытяжка будет слабее сока примерно в четыре раза.

Основные преимущества этих методов – их быстрота и простота выполнения – дают возможность проводить массовые определения. В связи с этим предложены различные разновидности портативных полевых приборов, содержащих необходимые для анализа реактивы и материалы.

Для определения содержания питательных веществ по реакциям, проводимым на срезах свежих растений, по В.В. Церлинг, используют прибор ОП-2, а в соке, выжатом из растения, – полевую сумку Магницкого.

5.3.1. Определение нитратного азота

Принцип метода. Обнаружение нитратного азота основано на его цветной реакции с дифениламином, в результате которой появляется синее окрашивание. По интенсивности окраски определяется концентрация азота в растениях.

Цель работы: научиться определять нитраты экспресс-методом.

Материалы и оборудование: свежие растения; предметные и покровные стекла; лезвия; стеклянные пластиинки; 1 %-й раствор дифениламина; пипетки; эталонные цветовые шкалы.

Ход определения

На бритвенные срезы, положенные на предметное стекло, наносят по одной капле 1 %-го раствора дифениламина так, чтобы кончик капельницы или пипетки не касался растворяемой ткани. Затем сверху накладывается другое предметное стекло и легким нажимом пальцев рук на стеклянные пластиинки выдавливается сок. Полученную окраску от взаимодействия сока с дифениламином сравнивают с эта-

лоном цветов и шкалой. Определяют оценочный балл каждого стебля растений (табл. 16).

Таблица 16

**Шкала потребности растений
в азотных удобрениях**

Балл	Характер окрашивания	Потребность растений в азотных удобрениях
6	Срез и раствор быстро и интенсивно окрашиваются в сине-черный цвет. Окраска устойчивая	Не нуждается
5	Срез и раствор сразу окрашиваются в темно-синий цвет. Окраска сохраняется некоторое время	Не нуждается
4	Срез и раствор сразу окрашиваются в синий цвет. Окраска наступает не сразу	Средняя нуждаемость
3	То же. Окраска светло-синяя, исчезает через 2–3 минуты	Нуждается
2	Окрашиваются проводящие пучки в голубой цвет. Окраска быстро исчезает	Сильно нуждается
1	Следы светло-голубой быстро исчезающей окраски	Очень сильно нуждается
0	Нет синей окраски. Порозование и затем почернение ткани вследствие ее обугливания от H_2SO_4 реактива	Острый недостаток и нуждаемость

Устанавливается средний балл обеспеченности растений азотом для данного поля. В соответствии с градациями цветной шкалы по средним баллам судят о необходимости проведения некорневых подкормок азотом для получения высокобелкового зерна сильной пшеницы на конкретных полях. Определяют сроки и дозы внесения азотных удобрений.

Градации, следующие:

а) **балл ниже 3,5** – проводить некорневую подкормку нецелесообразно, так как получить сильную пшеницу невозможно;

б) **балл от 3,6 до 4,5** – требуется две подкормки (по 30 кг/га д.в.); первая – в фазе колошения, вторая – в фазе налива зерна;

в) **балл от 4,6 до 5,5** – требуется одна подкормка азотом в период колошения-цветения или в крайнем случае – в фазе налива зерна;

г) **балл выше 5,5** – проводить некорневую подкормку нецелесообразно, так как возможно получение сильного зерна пшеницы без дополнительного внесения азота.

5.3.2. Определение фосфора

Принцип метода. Обнаружение фосфора основано на его цветной реакции с молибденово-кислым аммонием, бензидином и уксусно-кислым натрием, при которой появляется синяя окраска. По ее интенсивности определяется концентрация фосфора в растениях.

Цель работы: научиться определять фосфаты экспресс-методом.

Материалы и оборудование: свежие растения; предметные и покровные стекла; лезвия; стеклянные пластинки; молибденово-кислый аммоний; бензидин; уксуснокислый натрий; пипетки; стеклянный пестик; фильтровальная бумага; эталонные цветовые шкалы.

Xод определения

В центр кусочка фильтровальной бумаги, положенной на предметное стекло, наносят 1 каплю молибденово-кислого аммония и накладывают срезы растений. Стеклянным пестиком раздавливают срез и сдвигают его несколько в сторону от образовавшегося пятна сока. После этого на пятно и отдельно оставшуюся ткань среза наносят последовательно по 1 капле раствора бензидина и уксуснокислого натрия. При наличии фосфатов в растении на бумаге появляется синее окрашивание капли сока и ткани растения. Интенсивность окраски сравнивают с показателями таблицы 17 и цветной шкалой для определения фосфатов.

Таблица 17

Шкала потребности растений в фосфорных удобрениях

Балл	Характер окрашивания сока и отпечатка среза растения	Потребность растений в фосфорных удобрениях
5	Темно-синий, а сосудистых пучков – иссиня-черный	Не нуждаются
4	Синий, а сосудистых пучков темно-синий	Не нуждаются или слабо нуждаются
3	Светло-синий, а сосудистых пучков – синий	Средне нуждаются
2	Серо-голубой, а пучков – немного темнее	Нуждается
1	Слабо серо-голубой, а пучков – серо-голубой	Сильно нуждается
0	Нет голубой окраски	Очень сильно нуждается

Результаты записывают в баллах шкалы и устанавливают степень нуждаемости растений в фосфоре.

5.3.3. Определение калия

Принцип метода. Обнаружение калия основано на его цветной реакции с раствором дипикриламина магния и соляной кислоты, в результате которой появляется окрашивание от лимонно-желтого до красно-сурикового цвета. По интенсивности окраски определяется концентрация калия в растениях.

Цель работы: научиться определять калий экспресс-методом.

Материалы и оборудование: свежие растения; предметные и покровные стекла; лезвия; стеклянные пластинки; раствор дипикриламина магния; соляная кислота; пипетки, стеклянный пестик; фильтровальная бумага; эталонные цветовые шкалы.

Ход определения

На фильтровальную бумагу кладется срез растения. Затем его придавливают стеклянным пестиком и отодвигают срез несколько в сторону от пятна выделенного сока. На пятно сока и на срез наносят последовательно по одной капле раствора дипикриламина магния и соляной кислоты. Соляная кислота растворяет избыток реагента, образуя лимонно-желтое окрашивание, и растворяет калийную соль дипикриламина. Лимонно-желтая окраска указывает на отсутствие калия, а оранжево-красная – на наличие калия.

Интенсивность красной окраски сравнивается с таблицей 18 и цветной шкалой для определения калия.

Таблица 18

Шкала потребности растений в калийных удобрениях

Балл	Характер окрашивания выдавливаемого сока	Потребность растений в калийных удобрениях
5	Красно-суриковое	Не нуждается
4	Красно-оранжевое	Слабо нуждается
3	Оранжевое	Средне нуждается
2	Желто-оранжевое	Нуждается
1	Соломенно-желтое	Сильно нуждается
0	Лимонно-желтое	Остро нуждается

Результаты записывают в баллах шкалы и устанавливают степень нуждаемости растений в калии.

Качественная оценка потребности растений в элементах питания может быть переведена в количественные показатели в мг/кг на сырое вещество (табл. 19), а также в % сырого вещества.

Таблица 19
**Содержание нитратов, фосфатов и калия
в баллах по шкале В.В. Церлинга и в мг/кг на сырое вещество**

Балл	Соединение, мг/кг		
	Нитратный азот (N-NO_3)	Неорганические фосфаты (P_2O_5)	Калий (K_2O)
0 или следы	0 или следы	$86,5 \pm 3,0$	0 или следы
1	$0-28 \pm 6,1$	$121 \pm 7,0$	1300 ± 350
2	$67 \pm 3,6$	$174 \pm 13,7$	2400 ± 120
3	$151 \pm 6,1$	$225 \pm 24,5$	3300 ± 180
4	$174 \pm 7,2$	$415 \pm 43,5$	3700 ± 130
5	$221 \pm 4,8$	$692,5 \pm 50,4$	5400 ± 230
6	710 и $> \pm 9,4$	Нет баллов в шкале	Нет баллов в шкале

В последнем случае установленную величину в мг/кг надо разделить на 10 000. Например, при содержании нитратного азота 151 мг/кг сырого вещества его концентрация будет $151 : 10\,000 = 0,0151\%$.

Для составления диагностического заключения (рекомендаций) данные анализа сравнивают с оптимальными значениями содержания элементов питания, характеризующих степень обеспеченности растений элементами питания по данным этого метода.

Все результаты анализа растений студенты записывают в форму таблицы 20.

Таблица 20
Результаты тканевой диагностики растений

Вариант опыта	Элемент	Балл по повторностям						Средний балл	Рекомендации
		1	2	3	4	5	6		
1	N-NO_3								
	P_2O_5								
	K_2O								

Задание для самостоятельной работы

В свежеприготовленных поперечных срезах частей растений определите: нитратный азот, подвижные соединения фосфора и обменный калий.

Полученные данные занесите в итоговую таблицу и проанализируйте результаты. Сделайте выводы о необходимости проведения подкормок растений и обсудите полученные результаты на занятии.

6. ХАРАКТЕРИСТИКА И КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УДОБРЕНИЙ

6.1. Распознавание минеральных удобрений по качественным реакциям

По внешнему виду минеральные удобрения трудно отличить одно от другого. При неудовлетворительном хранении разные удобрения становятся весьма сходными между собой. Чтобы избежать ошибок при использовании удобрений, необходимо уметь определить с помощью простейших качественных реакций любое минеральное удобрение. Кроме того, для контроля за качеством удобрений и внесения, рассчитанных на планируемый урожай норм питательных веществ, удобрения анализируют на содержание в них азота, фосфора, калия и других элементов питания.

Цель работы: научиться распознавать минеральные удобрения.

Материалы и оборудование: дистиллированная вода; 2–5 %-й раствор хлористого бария; 1–2 %-й раствор азотнокислого серебра; 8–10 %-й раствор щелочи; насыщенный раствор щавелевокислого аммония; дифениламин; кобальтнитрит натрия; реактив Несслера; капельницы; пробирки; ложка и шпатель; вспомогательные схемы-ключи.

Содержание работы

В начале занятия каждому студенту выдается индивидуальный штатив с набором минеральных удобрений. Работу начинают с внимательного осмотра удобрения. Прежде всего удобрения нужно охарактеризовать по следующим параметрам:

- ✓ внешнему виду (по цвету, запаху, характеру кристаллов, гранул, порошков);
- ✓ растворимости в воде;
- ✓ характерным реакциям.

Цвет удобрения устанавливают путем тщательного осмотра. Принимается во внимание возможность его изменения при транспортировке и хранении.

Растворимость удобрения. Удобрения подразделяются на порошковидные, кристаллические и аморфные. К кристаллическим относятся все азотные удобрения (за исключением цианамида кальция)

и все калийные, к аморфным – все фосфорные и известковые. Кристаллические удобрения либо полностью, либо заметно растворяются в воде. Аморфные удобрения, как правило, слаборастворимы в воде. Визуально растворимость этих удобрений в воде установить практически невозможно.

Для определения растворимости в чистую пробирку помещают щепотку удобрения 1–2 г, приливают 15–20 мл дистиллированной воды, энергично встряхивают и наблюдают. Если удобрение растворяется в воде, то последующие пробы с реактивами, согласно вспомогательной схеме-ключу, проводят в отдельных пробирках. Далее устанавливают группу удобрений (азотные, фосфорные, калийные и т.д.), определяют состав и название удобрения.

Распознавание удобрений проводят по специальным вспомогательным таблице и схемам (приложения 3, 4, 5), а результат оформляют по форме таблицы 20, которую следует размещать на развернутом листе рабочей тетради.

Реакция со щелочью проводится для установления наличия иона аммония в удобрении. К 2–3 мл водного раствора удобрения добавляют несколько капель (5–8) щелочи, прикрывают пробирку пальцем и встряхивают. Присутствие иона аммония определяется характерным запахом аммиака, образовавшегося в результате реакции.

Реакция с хлористым барием позволяет определить в удобрении сульфат-ион. В этом случае при добавлении к 2–3 мл раствора удобрения 2–3 капель раствора хлористого бария выпадает белый осадок, нерастворимый при подкислении раствора 1–2 мл слабой уксусной кислотой.

Реакция с азотнокислым серебром показывает наличие в растворе иона хлора. К 2 мл раствора удобрения приливают 2–3 капли раствора азотнокислого серебра и встряхивают содержимое. Если ион хлора присутствует, то появляется хлопьевидный осадок хлористого серебра.

Прочие реакции. Присутствие кальция определяется щавелево-кислым аммонием. В присутствии кобальтнитрит натрия выявляют ион калия (образуется желтый осадок), реактив Несслера при наличии аммония образует красно-бурый осадок, дифениламин при наличии нитрат иона образует синее окрашивание и наличие синего кольца в растворе.

Задания для самостоятельной работы

Следует выучить и сдать преподавателю название удобрений, представленных в штатах.

Студентом заполняется таблица 21 (куда вносится не менее 15 наименований минеральных удобрений, их формула и % д.в., внешний вид, растворимость, качественные реакции, по которым было распознано удобрение).

Таблица 21
**Распознавание минеральных удобрений
по качественным реакциям**

№ п/п	Название удобрений	Формула и % д.в.	Внешний вид, запах	Раство- римость	Реакции					
					NaOH	BaCl ₂	AgNO ₃	Дифенил амин	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O

6.2. Смешанные удобрения

Смешанные удобрения получают путем механического смешивания готовых односторонних или комплексных удобрений на специальных тукосмесительных заводах, на крупных механизированных складах агрохимической службы или непосредственно в хозяйствах. Тукосмеси готовят разного состава с неодинаковым соотношением N : P : K в зависимости от потребностей удобряемой культуры и свойств почвы. В этом отношении тукосмеси имеют преимущества перед комплексными удобрениями, которые выпускают с фиксированным содержанием питательных элементов. Однако не все удобрения можно смешивать друг с другом, так как между ними могут происходить нежелательные изменения – ухудшение физических свойств, или уменьшение растворимости, или потеря питательных элементов [Муравин, 2003]. При смешивании аммонийных солей (сульфата аммония, нитрата аммония, аммофоса) со щелочными удобрениями (известью, золой, томасшлаком и термофосфатами) происходят потери азота вследствие выделения аммиака.



Поэтому указанные удобрения нельзя смешивать друг с другом. При заблаговременном смешивании аммонийной селитры с суперфосфатом получают мажущуюся смесь, неудобную для рассева, которая при хранении затвердевает. Поэтому смешивать эти удобрения следует непосредственно в день внесения.

В таблице 22 показана схема смешивания наиболее распространенных удобрений.

Таблица 22
Возможность смешивания удобрений

Удобрения	N _{AA}	N _A	N _M	Pс	Pсд	Известь, зола
N _{AA}	0	+	-	+	+	-
N _A	+	0	+	++	++	-
N _M	-	+	0	+	+	+
Pс	+	+	++	0	++	-
Pсд	+	++	+	++	0	-
АФ	++	++	++	++	++	-
Kх	-	-	-	-	-	+
Kс	+	++	+	++	++	+

Примечание: N_{AA} – аммонийная селитра; N_A – сульфат аммония; N_M – мочевина; Pс – суперфосфат простой; Pсд – двойной суперфосфат; АФ – аммофос; Kх – калий хлористый; Kс – сульфат калия; «++» – можно смешивать; «+» – смешивать только перед внесением; «-» – нельзя смешивать.

При смешивании удобрений необходимо придерживаться следующих правил:

- нельзя смешивать аммонийные формы азотных удобрений (сульфат аммония, нитрат аммония, аммофос) с щелочными удобрениями (известью, золой, томасшлаком и термофосфатами), так как происходят потери азота в виде аммиака;
- нельзя включать одновременно аммонийную селитру и мочевину, так как получается смесь повышенной гигроскопичности;
- нельзя заблаговременно смешивать аммонийную селитру и суперфосфат, так как при этом получается мажущаяся масса, которая затвердевает;
- нельзя смешивать суперфосфат с щелочными удобрениями, так как происходит ретроградация фосфатов;
- все азотные удобрения можно заблаговременно смешивать с аммофосом;

- суперфосфат можно использовать для приготовления смеси с мочевиной, с остальными удобрениями – только перед внесением.

Приготовление тукосмесей необходимо проводить с учетом потребности отдельных культур в определенном соотношении питательных элементов ($N : P_2O_5 : K_2O$), а также свойств почвы и способов внесения удобрений (основное, припосевное, подкормка). Для приготовления тукосмесей с высоким общим содержанием питательных веществ и хорошими физическими свойствами необходимо использовать в первую очередь мочевину или аммонийную селитру, суперфосфат двойной или аммофос, гранулированный хлористый калий.

Механизированное приготовление и внесение тукосмесей дают больший экономический эффект по сравнению с раздельным применением односторонних удобрений [Муравин, 2003].

Широко применяют удобрительные смеси в овощеводстве по методу Митлайдера. Применение смесей в этом методе обосновывается необходимостью обеспечить соответствующее соотношение основных элементов питания ($N : P : K = 1,8 : 1,0 : 1,8$), так как ни одно из промышленных комплексных удобрений не имеет такого соотношения. Оригинальная рецептура смесей характеризуется сбалансированностью, что обеспечивает оптимизацию питания растений [Безуглова, 2001].

Задания для самостоятельной работы

– установить возможность приготовления удобрительных смесей из предложенных сочетаний удобрений и оформить результаты в виде таблицы с указанием возможности смешивания: «–» – нельзя смешивать; «+» – можно смешивать, но только перед внесением; «++» – можно смешивать заблаговременно.

- 1) аммонийная селитра + суперфосфат;
- 2) аммонийная селитра + аммофос;
- 3) сульфат аммония + калий хлористый;
- 4) сульфат аммония + аммофос;
- 5) мочевина + калий сернокислый;
- 6) мочевина + суперфосфат;
- 7) суперфосфат + калий хлористый;
- 8) суперфосфат + калий сернокислый;
- 9) аммоний сернокислый + мочевина;
- 10) фосфоритная мука + аммонийная селитра;

- 11) фосфоритная мука + мочевина;
- 12) фосфоритная мука + суперфосфат;
- 13) мочевина + аммоний сернокислый;
- 14) аммонийная селитра + известь;
- 15) аммонийная селитра + мочевина;
- 16) навоз + калий хлористый;
- 17) навоз + мочевина;
- 18) навоз + фосфоритная мука;
- 19) навоз + аммофос;
- 20) навоз + аммонийная селитра.

6.3. Характеристика органических удобрений

Органические удобрения содержат питательные вещества в форме органических соединений растительного или животного происхождения. Органические удобрения известны с раннего периода истории земледелия. В Китае, Корее, Японии их начали применять 3 тыс. лет назад. В странах Западной Европы и на территории Европейской части России уже в XII–XIV веках использовали навоз, в Средней Азии с давних времен – зеленое удобрение. Ежегодное мировое применение органических удобрений во 2-й половине XX века определяется в 3–4 млрд т, что соответствует 15–20 млн т N, 3–4 млн т P₂O₅ и 18–24 млн т K₂O.

Органические удобрения оказывают многостороннее действие на свойства почвы. При их разложении в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов образуются доступные растениям минеральные соединения N, P, K, Ca, S и других элементов. Выделяющийся при этом углекислый газ насыщает почвенный воздух и приземной слой атмосферы, улучшая углеродное питание растений. При систематическом внесении органических удобрений улучшаются физико-химические и агрохимические свойства почвы, ее водный и воздушный режимы, активизируется жизнедеятельность полезных микроорганизмов. Через органические удобрения в основном осуществляется круговорот питательных веществ по схеме: почва – растения – животные – почва. Органические удобрения являются не только источником элементов питания, углерода для растений и почвенных микроорганизмов, но и источником пополнения запасов гумуса - одного из основных факторов почвенного плодородия, биогенности почвы. Органическое вещество почвы служит регулятором расходо-

вания питательных элементов, предотвращает их потери и повышает эффективность минеральных удобрений, сглаживает негативные последствия применения удобрений, выполняет санитарно-гигиеническую роль в охране биосферы.

К органическим удобрениям относятся: навоз, навозная жижа, фекальные массы, торф, различные компосты, птичий помет, зеленое удобрение, отходы городского коммунального хозяйства – мусор и компости на его основе, осадки сточных вод, переработанные отходы пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности, а также сапропель, солома и др.

Содержание питательных веществ в наиболее распространенных органических удобрениях представлено в таблице 23.

Навоз

Навоз – основное органическое удобрение, широко используемое в сельском хозяйстве. Средний состав навоза обычно характеризуется следующими показателями: $\text{H}_2\text{O} - 75 \%$; $\text{N} - 0,5 \%$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,25 \%$; $\text{K}_2\text{O} - 0,6 \%$, т. е. с 1 т навоза в почву поступает 5 кг азота, 2,5 кг фосфора и 6 кг калия. Важно, чтобы навоз был правильно подготовлен для внесения. Необходимо, чтобы в нем не содержались семена сорных растений и отношение $\text{C} : \text{N}$ не было широким (оптимальное отношение $\text{C} : \text{N}$ составляет 20 : 1).

Таблица 23

Содержание питательных веществ в органических удобрениях, %

Удобрение	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Навоз	0,5	0,3	0,6	0,4
Навозная жижа	0,3–0,5	0,1–0,2	0,4–0,6	0,06–0,08
Торф верховой	0,8–1,5	0,1	0,06–0,1	0,3–0,5
Торф низинный	2,0–3,0	0,2–0,4	0,1–0,3	2,0–3,0
Компост сборный	0,3–0,5	0,2–0,4	0,3–0,6	0,5–3,0
Птичий помет (куриный)	1,6–4,5	1,5–3,6	0,6–1,7	2,4
Солома	0,3–0,8	0,2–0,4	0,8–1,5	0,2–0,4

Чем меньше отношение С : N и выше содержание азота в навозе, тем сильнее его удобрительное действие, и наоборот. В органическом веществе полуперепревшего навоза содержится в расчете на сухое вещество около 50 % углерода. Зная зольность навоза и количество азота в нем в пересчете на сухое вещество, можно определить отношение углерода к азоту (С : N) по формуле [Васильев, 1988]

$$C : N = (100 - a) \cdot 50/100 \cdot D = (100 - a)/2 \cdot D,$$

где a – зольность навоза, % на сухое вещество;

(100–a) – органическое вещество, %;

D – содержание общего азота в расчете на сухую массу навоза, %.

Например, при зольности 30 % и 2 %-м содержании общего азота отношение углерода к азоту в навозе

$$C : N = (100 - 30)/(2 \cdot 2 = 17,5).$$

Навоз вносят под все культуры с заделкой его в почву. Нормы навоза зависят от конкретных условий и целей и варьируют от 5–10 до 50–60 т на 1 га. Навоз повышает урожайность растений и обладает длительным последействием (2–3 года).

Птичий помет

Птичий помет – органическое удобрение с высоким содержанием N, P, K и микроэлементов. Куриный помет по удобрительной ценности превосходит навоз [Васильев, 1988]. В среднем он содержит, %: 1,6 азота; 1,5 P₂O₅; 0,8 K₂O. Помет обладает и рядом отрицательных свойств. Он включает огромное количество семян сорняков, является носителем патогенной микрофлоры, имеет неприятный запах. Влажность помета – 70–80 %. Наиболее предпочтителен помет, высушенный в барабанных сушилках до влажности 10–20 %, содержание элементов питания в нем составляет, %: N – 4,5; P – 3,6; K – 1,7. Под воздействием высокой температуры гибнут семена сорняков и патогенные микроорганизмы. Помет используется в качестве основного удобрения и как подкормка.

Под пропашные культуры (картофель, овощи) вносят 4–5 т/га, под зерновые – 2,0–2,5 т/га (основное удобрение). Подкормка под большинство культур составляет 8–10 ц/га. Нормы сухого помета вдвое меньше.

Торф

Торф – представляет собой смесь полуразложившихся в условиях избыточного увлажнения остатков растений, в основном болотных.

Самое широкое применение торф находит в сельском хозяйстве для производства органо-минеральных удобрений, субстратов, мелиорантов, биостимуляторов роста растений [Инишева, 2001].

Мировые запасы торфа составляют около 275 млрд т, из них на долю России приходится свыше 180 млрд т. В Урало-Сибирском регионе сосредоточено около 80 % от российских запасов. Площадь торфяных болот в России составляет 100 млн га. В Красноярском крае запасы торфа составляют 4,5 млрд т, что более чем достаточно для промышленного освоения [Бугаенко, 2003]. Самые большие и наиболее доступные запасы торфа находятся в Енисейском районе (18 964 тыс. т), далее следует Ачинский – с запасами торфа 14 483 тыс. т, потом Ирбейский (12 511 тыс. т), Каратузский – 8555 тыс. т, Казачинский – 4262 тыс. т. Запасы торфа этих районов должны служить основой торфяной промышленности Красноярского края [Мукина, Миронов, 2006]. Используется торф как компонент для компостирования с навозом, органическими и минеральными удобрениями. Ценность торфа зависит от степени его разложения, зольности, ботанического состава, кислотности.

Выделяют торф:

- слаборазложившийся – 5–25 %;
- среднеразложившийся – 25–40 %;
- сильноразложившийся – более 40 %.

Чем сильнее степень разложения, тем выше удобрительная ценность торфа. В торфе содержатся N, P, K и другие элементы, но больше всего в торфе азота, однако он малодоступен для растений.

Ценность торфа как органического удобрения существенно возрастает при его компостировании с навозом и с добавлением в него минеральных удобрений.

Торфяной навоз получается в результате использования верхового или переходного торфа на подстилку скоту. В среднем на одну голову КРС следует вносить 8–12 кг торфяной подстилки. Торфяной навоз вносят, т/га: под зерновые – 20–25, под картофель, овощи и кормовые корнеплоды – 40–50.

Торфонавозный компост получают путем смешивания торфа и навоза в соотношениях 1 : 1; 1 : 2; 1 : 3 в зависимости от обеспеченности ими хозяйств. Компости приготавливают послойным, площадочным и очаговым способами. При использовании слаборазложившегося кислого торфа для усиления микробиологической деятельности в компост добавляют 1 % извести (10 кг/т). Кислотность торфа также можно понизить, добавляя к нему фосфоритную муку в соотношении 1 : 10 (в пересчете на сухой торф). Фосфоритная мука не только нейтрализует кислотность торфа, но и способствует его разложению, а торф повышает растворимость фосфоритной муки и делает ее доступной для растений. Дозы внесения торфонавозного компоста такие же, как и для торфяного навоза.

Торфожижевые и торфофекальные компости готовят непосредственно в поле, в местах их применения. Торф укладывают в два смежных вала таким образом, чтобы между ними образовалось углубление. Толщина слоя в местах соприкосновения валов 40–50 см. В образующееся между валами углубления сливают из автоцистерны навозную жижу или фекалии. В торфожижевые компости можно добавлять также фосфоритную муку в количестве 1,5–2,0 % от массы компоста. После поглощения жижи или фекалий торфом массу сгребают бульдозером в штабель без уплотнения. Температура компоста в штабеле благодаря его рыхлой укладке поднимается до 60–70 °С. При такой температуре яйца гельминтов и некоторых возбудителей болезней погибают. Торфожижевые компости под зерновые вносят в дозе 10–15 т/га.

Сапропель

Сапропель – это органо-минеральные отложения пресноводных озер, образующиеся в результате биохимического, микробиологического и физико-механического процессов из остатков животных и растительных организмов, населяющих озера, а также приносимых в водоемы водой различных органических и минеральных примесей [Коршунова, Власенко, Мукина, 2001].

Сапропель богат витаминами В₁, В₁₂, В₆, Е, С, D, Р. Кроме этого он содержит ферменты, антибиотики, биостимуляторы. Сапропелевые отложения характеризуются высоким содержанием гумуса, азота, фосфора, калия, кальция, магния. Также в его состав входят микроэлементы – медь, кобальт, бор, марганец, цинк, йод и др. Благодаря своему составу, сапропель является ценным органическим удобрением.

Минеральная часть сапропеля представлена карбонатами, фосфатами, сульфатами, соединениями кремния, железа и алюминия. Минеральная часть содержит и микроэлементы. Органическая часть сапропеля состоит из азотсодержащих веществ, сахаров и биологически активных веществ (гуминовые кислоты, битумы, витамины).

В естественном состоянии сапропели сильно обводнены. Имеют вид желеобразной массы. В зависимости от содержания отдельных органических и неорганических компонентов цвет бывает оливковый, черный, серый, голубоватый, розовый, даже красный. Извлеченный из залежи сапропель быстро окисляется и теряет естественную окраску. По зольности и преобладающему компоненту в золе, сапропель делят на четыре типа:

- органический (зольность до 30 %);
- карбонатный (зольность и содержание $\text{CaCO}_3 > 30 \%$);
- кремнеземистый (зольность и содержание $\text{SiO}_2 > 30 \%$);
- смешанный (зольность $> 30 \%$, равное содержание CaCO_3 и SiO_2).

В России насчитывается около 350 тыс. озер с общими запасами сапропелей – 92 млрд т. Разведанные запасы сапропеля в Сибири составляют около 580 млн т, в которых содержится около 93 млн т органического вещества. Даже если применять 10 % от запасов сапропелей, возможное поступление питательных элементов в земледелие Сибири составит более 200 тыс. т азота и 40 тыс. т фосфора (табл. 24).

На территории Красноярского края расположено около 2 625 озер. Отличительной особенностью их является удачное географическое расположение в освоенных районах, имеются близко расположенные залежи торфа, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, отходы производств, которые можно использовать для приготовления комплексных органо-минеральных удобрений.

Таблица 24
Ресурсы сапропеля в Сибири (по данным Г.П. Гамзикова, 2007)

Регион	Прогноз- ные ресурсы	Разве- данные запасы	Запас органиче- ского вещества млн т	Запас питательных веществ, тыс. т		
				N	P_2O_5	Сумма
Западная Сибирь	17170	497	79,5	2087	348	2435
Восточная Сибирь	14500	82	13,1	344	57	401
Всего	31670	579	92,6	2431	405	2836

Наиболее крупные озера – большое и малое Айдашинские в Ачинском районе. В Минусинском районе крупные озера Большое и Малое Кызыкульское. Оба они отнесены к карбонатному типу. Наиболее перспективным для разработки является месторождения сапропеля озера Малое Кызыкульское. Средняя мощность сапропелевых отложений в нем составляет около 2 м, а высота водной толщи 50 см. Это озеро интенсивно застраивающее. Сапропели могут использоваться как известьодержащие мелиоранты и компонент торфосапропелевых, сапропеле-навозных удобрений. Кызыкульские сапропели могут применяться как мелиоранты, органические удобрения и для подкормки птиц и свиней.

В Абанском районе сапропель обнаружен в нескольких озерах. Эти сапропели отличаются богатством элементов питания, в озерных илах нет болезнетворных микроорганизмов, так как в процессе образования сапропелей выделяются природные антибиотики. В озерах Материковое, Каравесо, Кривое, Плахино выявлены сапропели с наиболее высоким содержанием органического вещества.

Сапропели применяют в чистом виде и в виде компостов с навозом, фекалиями, навозной жижей. Перед внесением сапропель пропаривают, чтобы содержащиеся в нем вредные для растений закисные соединения превратились в окисные. Заготавливают сапропель летом и зимой. При приготовлении компостов на 1 т сапропеля берут 0,2 т навоза или фекалий, навозной жжи. Нормы сапропеля в зависимости от содержания в нем питательных веществ составляют, т/га: под озимые 30–40, под картофель, кормовые корнеплоды и овощные культуры 60–70 и более.

Зеленые удобрения

Зеленые удобрения – свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее и последующих культур органическим веществом и питательными элементами. Растения, выращиваемые на зеленые удобрения, называют сидератами, а прием обогащения ими почв-сидерацией [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002]. В качестве зеленых удобрений (сидератов) используют фацелию, редьку масличную, райграс, клевер, люпин, горох, кормовые бобы, вику, люцерну, горчицу, рапс, сераделлу, донник. Наиболее перспективными растениями на зеленое удобрение являются донник, вика, горох, клевер.

Роль зеленых удобрений заключается в следующем:

- почва обогащается органическим веществом и новообразованным гумусом;

- сокращаются потери азота от вымывания;
- увеличивается в почве содержание N, P, K;
- улучшаются физические свойства почвы;
- происходит защита почвы от эрозии.

Зеленые удобрения в течение длительного времени изучались в условиях Красноярского края сотрудниками Красноярского государственного аграрного университета: В.В. Чупровой [1997], А.М. Берзиным [2002], А.А. Шпедтом [2008].

Запашку зеленого удобрения лучше всего проводить в августе. Сидераты эффективны на легких дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Целесообразно их применение на полях, удаленных от животноводческих ферм. Стоимость семян и выращивание зеленых удобрений во много раз дешевле, чем доставка навозного удобрения или торфонавозного компоста. Действие зеленых удобрений равноценно действию 30–40 т навозного удобрения.

Солома

Солома зерновых культур может быть использована в качестве органического удобрения. По содержанию органического вещества, азота, фосфора, калия тонна соломы соответствует 4,5 т полуперепревшего навоза с влажностью в 75 %. При запахивании в почву больших масс соломы необходимо иметь в виду особенности этого органического удобрения. В соломе в 4 раза шире отношение углерода к азоту в сравнении с навозом. В результате этого запахивание больших доз (4–5 т/га и более) соломы может создавать в почве дефицит доступных растениям форм азота. Целесообразно в полях, удаленных от пар, вносить на каждую тонну соломы 8–10 кг азота в форме минеральных удобрений или жидкий навоз по 50 м³/га. Это особенно необходимо на бедных серых или светло-серых лесных почвах. Использование соломы в качестве удобрения важно для пополнения органического вещества в почвах, где нет рядом торфяных месторождений или животноводческих хозяйств. Выгоднее солому разбросать по полю и заделать. Для измельчения и равномерного разбрасывания соломы по полю промышленность выпускает различные приспособления, устанавливаемые на комбайнах. Измельченную солому лучше всего заделывать неглубоко в почву дискованием или лущением на глубину 8–10 см.

Компосты

Компосты (нем. compost, итал. composta, от лат. compositus – составной) – удобрения, получаемые в результате разложения различных органических веществ под влиянием деятельности микроорганизмов. При компостировании в органической массе повышается содержание доступных растениям элементов питания (азота, фосфора, калия и др.), обезвреживаются патогенная микрофлора и яйца гельминтов, удобрение становится сыпучим, что облегчает внесение его в почву. Основными материалами для приготовления компостов являются навоз, торф, навозная жижа, птичий помет, льняная и конопляная костра, древесная листва, стебли подсолнечника, кочерыжки кукурузы, непригодные корма, городской мусор, фекалии, осадки сточных вод, отходы кожевенных заводов, отходы деревообрабатывающей промышленности и др.

В Красноярском крае, обладающим высоким лесоресурсным потенциалом, развитой деревообрабатывающей промышленностью скапливается огромное количество отходов этой отрасли: коры, лигнина, опилок, – которые после компостирования могут быть использованы в качестве удобрений. Можно готовить компосты из коры, лигнина, опилок в различных сочетаниях с навозом, птичьим пометом, цеолитом, вермикулитом, сапропелем, осадком сточных вод и другими добавками. Сочетание древесных отходов с куриным пометом является наиболее удачным по подбору компонентов. Применение лигнинопометного компоста (соотношение компонентов 1 : 1) в дозе 60 т/га обеспечивает прирост урожайности, ц/га: пшеницы – 4,6; картофеля – 81; зеленой массы кукурузы – 83; сена однолетних трав – 18,6. Пометолиггиновые смеси, взятые в соотношении 75 % птичьего помета и 25 % лигнина, используют для вермикомпостирования с целью получения экологически чистого удобрения – биогумуса (вермикомпоста).

Возможности компостирования гидролизного лигнина с навозом КРС изучали в Ленинградской области, Краснодарском крае, Белоруссии и других регионах. При использовании лигнина обычно проводят нейтрализацию его кислотности известью в дозе 30 кг на 1 т и последующее смешивание с навозом в соотношении 1 : 1. Навоз с лигнином необходимо компостировать продолжительное время – более 6 месяцев. Полученные компосты необходимо применять на фоне минеральных удобрений, дозы внесения их должны быть умеренны-

ми – 20–30 т/га. Компосты эти целесообразно готовить вблизи мест их производства в связи с большими транспортными расходами.

Использование органических удобрений из коры повышает плодородие почв. При этом кроме экономического эффекта, в какой-то мере будет решена проблема утилизации отходов деревообрабатывающей промышленности [Ульянова, 2009].

Органические удобрения вносят под вспашку (иногда под культивацию). Дозы органических удобрений от 15 до 60 т/га (под овощные до 80–100 т/га), при внесении в лунки – 5–10 т/га, при применении совместно с минеральными – значительно ниже. Органические удобрения наиболее эффективны на дерново-подзолистых почвах.

Задания для самостоятельной работы

Изучить состав и основные свойства органических удобрений.

Сделать сообщение об одном из органических удобрений на занятии (на выбор).

По итогам изучения удобрений выполнить контрольную работу и распознать 10 органических удобрений из предложенной преподавателем коллекции.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Минеральные удобрения, из которых может в большей степени теряться азот в газообразной форме:

- а) KNO_3 ;
- б) NH_4NO_3 ;
- в) NH_4OH ;
- г) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

2. Форма азота в аммонийной селитре:

- а) аммонийная;
- б) нитратная;
- в) аммонийно-нитратная;
- г) амидная.

3. Форма азота в удобрениях, предпочтительная для кислых почв:

- а) аммонийная;
- б) нитратная;
- в) аммонийно-нитратная;
- г) амидная.

4. Содержание азота в аммонийной селитре, %:

- а) 20;
- б) 34;
- в) 46;
- г) 82.

5. Содержание азота в мочевине , %:

- а) 20;
- б) 34;
- в) 46;
- г) 82.

6. Содержание азота в сернокислом аммонии ,%:

- а) 20;
- б) 34;
- в) 46;
- г) 82.

7. Химическая формула аммонийной селитры:

- а) NH_4NO_3 ;
- б) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;
- в) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

8. Питательных элементы, входящие в состав удобрений, снижающие заболеваемость растений грибными заболеваниями:

- а) N;
- б) P;
- в) K;
- г) B.

9. Удобрения, которые при внесении в почву без заделки быстро переходят в форму углекислого аммония:

- а) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- б) NaNO_3 ;
- в) NH_4OH ;
- г) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

10. Удобрения, обладающие слабой физиологической щелочностью:

- а) карбамид;
- б) аммиачная селитра;
- в) кальциевая селитра;
- г) аммиачная вода.

11. Азотное удобрение, соответствующее нитратной форме азота:

- а) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- б) KNO_3 ;
- в) NH_4OH ;
- г) CaCN_2 .

12. Азотное удобрение, пригодное для внесения в рядки:

- а) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- б) NaNO_3 ;
- в) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;
- г) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

13. Причина, по которой аммиачные удобрения нельзя смешивать со щелочами:

- а) образуются труднорастворимые соединения;
- б) улетучивается аммиак;
- в) происходит ретроградация;
- г) образуется смесь, обладающая высокой гигроскопичностью.

14. Фосфорное удобрение, соответствующее формеmonoфосфата кальция:

- а) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$;
- б) CaHPO_4 ;
- в) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$;
- г) $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$.

15. Фосфорное удобрение, которое применяется в чистом виде только на кислых почвах:

- а) простой суперфосфат;
- б) двойной суперфосфат;
- в) фосфоритная мука;
- г) вивианит.

16. Фосфорное удобрение, которое вносится только в разброс:

- а) двойной суперфосфат;
- б) преципитат;
- в) простой суперфосфат;
- г) фосфоритная мука.

17. Формула соответствующая калимагу:

- а) KCl;
- б) KCl + NaCl;
- в) $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$;
- г) K_2CO_3 .

18. Элемент, которым наиболее богата древесная зола:

- а) P;
- б) Ca;
- в) K;
- г) N.

19. Птичий помет, превосходящий навоз:

- а) помет уток;
- б) помет гусей;
- в) куриный помет;
- г) птичий помет.

20. Причина, по которой торф повышает санитарное состояние ферм:

- а) обладает высокой емкостью поглощения;
- б) имеет высокую влагоемкость;
- в) отличается бактерицидностью;
- г) поглощает газы.

21. Способ хранения навоза, обеспечивающий наибольшее сохранение азота и органического вещества:

- а) горячий (рыхлый);
- б) холодный (плотный);
- в) рыхло-плотный;
- г) в буртах.

22. Смешивание навоза с фосфоритной мукой:

- а) усиливает разложение навоза;
- б) переводит фосфор в доступное состояние;
- в) увеличивает количество питательных веществ;
- г) нейтрализует реакцию среды.

23. Органические удобрения на основе отходов животноводства:

- а) подстилочный навоз;
- б) бесподстилочный навоз;
- в) птичий помет;
- г) торф.

24. Комплексные удобрения из группы сложных:

- а) нитрофоска;
- б) аммофос;
- в) нитроаммофоска;
- г) калийная селитра.

25. Наиболее концентрированные калийные удобрения:

- а) калийная соль;
- б) сильвинит;
- в) сульфат калия;
- г) зола.

26. Удобрения, включающие следующие элементы питания, повышают биосинтез белка:

- а) N;
- б) P;
- в) S;
- г) B.

27. Удобрение, относящееся к промышленным тукам:

- а) известь;
- б) мочевина;
- в) зола;
- г) глинозем.

28. Агрехимикат косвенного действия:

- а) мочевина;
- б) фосфоритная мука;
- в) цеолит;
- г) сульфат калия.

29. Нитратное азотное удобрение:

- а) мочевина;
- б) хлористый аммоний;
- в) калийная селитра;
- г) сульфат аммония.

30. Азотное удобрение, которое может подвергаться в почве частичной нитрификации:

- а) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- б) NaNO_3 ;
- в) NH_4NO_3 ;
- г) KNO_3 .

31. Водорастворимые формы фосфорных удобрений:

- а) фосфоритная мука;
- б) двойной суперфосфат;
- в) преципитат;
- г) вивианит.

32. Фосфорное удобрение, которое может в большей степени подвергаться ретроградации:

- а) фосфоритная мука;
- б) двойной суперфосфат;
- в) фосфатшлак;
- г) преципитат.

33. Наиболее концентрированное комплексное удобрение:

- а) нитроаммофос;
- б) нитроаммофоска;
- в) аммофос;
- г) кристаллин.

34. Органические удобрения на основе продукции растениеводства:

- а) торф;
- б) солома;
- в) ботва;
- г) компост.

35. Сырье, содержащее значительное количество отмерших водорослей:

- а) цеолит;
- б) вермикомпост;
- в) сапропель;
- г) бентонит.

36. Инертный компонент для компостирования:

- а) птичий помет;
- б) солома;
- в) сидераты.

37. Комбинированное удобрение:

- а) двойной суперфосфат;
- б) аммофос;
- в) диаммофоска.

38. Удобрение, которое может заменить двойной суперфосфат:

- а) аммофос;
- б) нитрофоска;
- в) азофоска.

39. Смешивание торфа с известью:

- а) снижает кислотность;
- б) увеличивает качество извести;
- в) повышает кислотность торфа.

40. Смешивание лигнина с фосфоритной мукой приводит:

- а) к растворению фосфора;
- б) к химическому поглощению;
- в) к осаждению.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ «ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ»

1. Какова роль органических удобрений в питании растений и регулировании плодородия почв?
2. Перечислите виды органических удобрений и дайте им краткую характеристику.
3. Состав, свойства и применение подстилочного навоза.
4. Состав, свойства и применение бесподстилочного навоза.
5. Способы хранения навоза.
6. Состав, свойства и применение птичьего помета.
7. Состав, свойства и применение фекалий.
8. Состав, свойства и применение разных типов торфа.
9. Солома, состав, свойства и использование ее в качестве удобрения.
10. Сапропель, состав, свойства и возможности применения в качестве удобрений.
11. Зеленые удобрения, приемы выращивания и использования.
12. Отходы деревообрабатывающей промышленности, состав, свойства и возможности их использования в качестве удобрений.
13. Каковы особенности применения различных компостов?
14. Бытовые и промышленные отходы и возможности их использования в качестве удобрений.
15. Переработка органических отходов методом вермикультуры.

7. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ. СОСТАВЛЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ КАРТОГРАММ

Полевое агрохимическое обследование почв проводят с целью получения информации об агрохимических показателях почв, их оценки и контроля за изменением плодородия. Информация, полученная при полевом агрохимическом обследовании почв, используется для разработки проектно-сметной документации на известкование, гипсование, комплексное агрохимическое окультуривание полей, планов применения удобрений в хозяйстве. Агрохимическое обследование почв дает возможность научно обосновать потребность в удобрениях и рационально использовать их для повышения плодородия почв и роста урожайности.

Периодичность агрохимического обследования почв устанавливается дифференцированно в зависимости от уровня химизации земледелия. В хозяйствах с низким уровнем химизации оно проводится раз в 5–7 лет, в хозяйствах с высоким уровнем химизации на орошаемых и осушаемых землях – раз в 3 года. В среднем периодичность обследования составляет 4–5 лет. Такое обследование дает возможность осуществлять контроль за изменением плодородия почв во времени и вносить корректизы в планы химизации земледелия.

По результатам агрохимического обследования почв в хозяйстве составляются агрохимические картограммы и почвенно-агрохимические паспорта полей (участков).

Агрохимическая картограмма – это схематичная карта, на которой дано пространственное размещение площадей почв с разными агрохимическими свойствами – разным уровнем обеспеченности элементами питания, гумусированности, кислотности и щелочности [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Агрохимические картограммы являются основным документом в хозяйстве для определения нуждаемости почв в известковании или гипсовании и определения доз извести и гипса, а также наряду с данными полевых опытов с удобрениями – для распределения удобрений по полям в хозяйстве и установления доз удобрений в зависимости от выращиваемой культуры.

На этапе подготовки к агрохимическому обследованию на землеустроительном плане хозяйства наносятся границы почвенных ареалов, которые выделены на почвенной карте. Обозначаются границы севооборотов. Разграничиваются поля и массивы земель с раз-

ной агротехнической историей. В производственной практике нередко на одном и том же поле севооборота возделываются разные культуры. При выращивании одной культуры не всегда на всем поле применяются удобрения, части поля могут различаться дозами и видами удобрений, которые использовались в последние годы. На таком плане производится разделение на элементарные участки. В большинстве случаев площадь элементарного участка составляет 10 га. На мелиорируемых землях и при высокой комплексности почвенного покрова площадь может быть ниже 3–5 га. Элементарный участок должен иметь форму квадрата или прямоугольника с соотношением сторон не менее 2 : 1. Элементарные участки размещаются таким образом, чтобы в его состав не входили почвы разного генезиса и уровня плодородия, а также с разным характером использования и разной степенью удобренности. Элементарным участкам присваиваются номера.

С каждого элементарного участка производится отбор смешанного почвенного агрохимического образца, который составляется из 20 индивидуальных проб. Образцу присваивается номер элементарного участка. Отбор проб производится равномерно по маршруту прохода на элементарном участке. Движение может быть прямолинейным или криволинейным. Все представленные на участке элементы микрорельефа должны быть охвачены индивидуальными пробами. Соотношение проб в смешанном образце должно отражать соотношение элементов микрорельефа на участке. Пробы отбираются специальным агрохимическим буром (или лопатой) на глубину пахотного слоя на пашне, на глубину 15 см – на лугах и пастбищах.

Сразу после отбора пробы доставляют в лабораторию, подвергают сушке в термических камерах с температурой не выше 60 °С. При необходимости пробы подвергают сушке в тени, исключая воздействие солнечного света и осадков.

Агрохимик, основываясь на свойствах почв элементарного участка, составляет аналитическую ведомость. В ней указываются виды лабораторных анализов для каждого почвенного образца. Содержание легкорастворимых фосфора и калия, которые определяют в черноземах в 0,5 н. растворе уксусной кислоты по методу Чирикова, на кислых почвах – в 0,2 н. растворе соляной кислоты по методу Кирсанова, на карбонатных почвах – в 1 %-м растворе углекислого аммония по методу Мачигина. Величина pH определяется в нейтральных и

карбонатных почвах в водной вытяжке, в кислых почвах – в солевой вытяжке.

В соответствии с содержанием в почве элемента питания выделяется 6 классов обеспеченности растений: 1 – очень низкая; 2 – низкая; 3 – средняя; 4 – повышенная; 5 – высокая; 6 – очень высокая.

Основными документами для составления агрохимических картограмм служат ведомость результатов агрохимического обследования почв и рабочий полевой экземпляр плана внутрихозяйственного землеустройства с нанесенными почвенными контурами и границами всех отдельно обрабатываемых участков.

Картограмма кислотности почв. Значение pH вписывают на карту в центр элементарных участков, которым были присвоены номера. Клетки в пределах одной градации кислотности объединяют в один агрохимический контур на карте. Номер группы по степени кислотности указывают римскими цифрами и контур закрашивают в соответствующий цвет.

В соответствии со значениями pH по степени кислотности почвы подразделяют на несколько групп, каждая из которых характеризуется определенным цветом (табл. 25).

Таблица 25
Группировка почв по степени кислотности

Номер группы	pH	Уровень кислотности	Цвет
I	Ниже 4,0	Очень сильнокислые	Красный
II	4,1–4,5	Сильнокислые	Оранжевый
III	4,6–5,0	Среднекислые	Желтый
IV	5,1–5,5	Слабокислые	Зеленый
V	5,6–6,0	Близкие к нейтральным	Синий
VI	6,0	Нейтральные	Фиолетовый

Верху картограммы указывают ее наименование, название хозяйства, масштаб, исполнителя, руководителя. Под картой помещают экспликацию по установленной форме. В экспликации указывают номер группы почв по степени кислотности, цвет, значение кислотности и площади почв в гектарах разных групп кислотности по угодьям.

Картограмма содержания подвижного фосфора. Данные анализа смешанных образцов по содержанию подвижного фосфора впи-

сыают на карту-схему с элементарными участками. Клетки с одинаковыми значениями по содержанию подвижного фосфора в пределах одной градации объединяют в один агрохимический контур, который закрашивают в соответствующий цвет (табл. 26).

Таблица 26

Группировка почв по содержанию подвижного фосфора, мг/кг почвы

Номер группы	Уровень содержания	Определение подвижного фосфора по методу		Цвет
		Кирсанова	Чирикова	
I	Очень низкое	Менее 25	0–20	Красный
II	Низкое	26–50	21–50	Оранжевый
III	Среднее	51–100	51–100	Желтый
IV	Повышенное	101–150	101–150	Зеленый
V	Высокое	151–250	151–200	Синий
VI	Очень высокое	Более 250	Более 200	Фиолетовый



Рис. 3. Сетка элементарных участков и маршрутная линия отбора образцов



Условные обозначения	P_2O_5 , мг/100г	Обеспеченность	S, га
	10-15	Повышенная	5
	15-20	Высокая	15
	≥ 20	Очень высокая	80

Рис. 4. Агрехимическая картограмма содержания подвижного фосфора

Картограммы содержания обменного калия и гумуса составляются на основе данных таблицы 27 и 28 по той же методике.

К агрехимическим картограммам прилагается пояснительная записка (очерк). В ней помещаются общие сведения о хозяйстве, методика полевой и аналитической работы по составлению картограмм, подробная агрехимическая характеристика почв хозяйства, площади почв различной кислотности и с разным содержанием питательных веществ, даются рекомендации по использованию картограмм при применении удобрений и химической мелиорации почв.

Таблица 27

Группировка почв по содержанию обменного калия, мг/кг

Номер группы	Уровень содержания	Определение подвижного фосфора по методу		Цвет
		Кирсанова	Чирикова	
I	Очень низкое	Менее 50	Менее 50	Красный
II	Низкое	50–100	50–70	Оранжевый
III	Среднее	100–150	70–90	Желтый
IV	Повышенное	150–200	90–110	Зеленый
V	Высокое	200–300	110–150	Синий
VI	Очень высокое	Более 300	Более 150	Фиолетовый

Таблица 28

Группировка почв по содержанию гумуса

Номер группы	Содержание гумуса, %	Цвет
I	0–2,0	Красный
II	2,1–4,0	Оранжевый
III	4,1–6,0	Желтый
IV	6,1–8,0	Зеленый
V	8,1–10,0	Синий

Задания для самостоятельной работы

1. По индивидуальным заданиям (приложение 6) составить агрохимические картограммы.
2. Вычислить площади ареалов каждого класса обеспеченности питательными элементами, гумусированности или степени кислотности почв.
3. Сделать вывод о возможности проведения мелиоративных мероприятий и внесения удобрений.

8. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ

Система удобрения в хозяйстве представляет собой комплекс агрономических, экономических и организационно-хозяйственных мероприятий по рациональному использованию удобрений и мелиорантов в целях оптимизации плодородия почвы, повышения продуктивности и качества растениеводческой продукции на определенный срок, который конкретизируется в системе удобрения в севооборотах и в годовых планах применения удобрений. Этот комплекс мероприятий включает: наличие научно обоснованной системы удобрений в севооборотах; наличие складов для правильного хранения минеральных удобрений с механизированной погрузкой, разгрузкой и тукосмешением; организацию накопления и правильного хранения органических удобрений; наличие сельскохозяйственной техники по перевозке и внесению удобрений и мелиорантов [Минеев, 2006].

Система удобрения в севообороте – это многолетний план применения удобрений и мелиорантов в севообороте с учетом плодородия почвы, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, состава и свойств удобрений, составляемый на полную ротацию каждого севооборота хозяйства. Система удобрения в севообороте является частью общей системы удобрения в хозяйстве. Применение удобрений в севообороте увеличивает их эффективность на 20–30 %.

Система удобрений для каждой культуры севооборота должна предусматривать необходимые виды удобрений, целесообразные дозы, а также наиболее эффективные сроки и способы их внесения.

Общие основные положения научной системы удобрений следующие:

- наибольшая эффективность удобрений проявляется на фоне высокой культуры земледелия с применением всего комплекса агротехнических мероприятий;
- все растения в течение вегетационного периода должны получить оптимальное количество и соотношение питательных элементов;
- важно обеспечить послойное размещение питательных элементов в почве в зоне наибольшего развития корневой системы растений;
- необходимо правильно распределять удобрения с учетом специализации севооборота (в первую очередь удобрениями обеспечивают овощные севообороты);

- систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению подвижных фосфатов в почве и повышению эффективности применения азотных удобрений;
- научная система удобрений в севообороте предусматривает постоянный контроль за воспроизводством плодородия почвы, балансом элементов питания и гумуса почвы, добиваясь оптимального их содержания с учетом требований культуры и реализации их потенциальной продуктивности [Минеев, 2006].

Различают три типа системы удобрений: минеральную, органическую и органоминеральную.

8.1. Баланс элементов питания и гумуса

8.1.1. Баланс элементов питания в севообороте и потребность в минеральных удобрениях

Баланс питательных элементов – это количественное выражение содержания питательных веществ в почве на конкретной площади или объекте исследования (поле, севооборот, хозяйство, зона и т. д.) с учетом всех статей их поступления (внесение удобрений, природные источники и т. д.) и расхода (вынос с урожаем, естественные потери-вымывание, улетучивание) в течение определенного промежутка времени.

В приходную часть баланса включают поступление питательных веществ, его обеспечивают следующие источники: 1) минеральные и органические удобрения; 2) растительные остатки; 3) посевной материал; 4) биологическая фиксация азота клубеньковыми и свободноживущими микроорганизмами; 5) поступление с осадками.

В расходной части учитывают: 1) вынос с урожаем основной и побочной продукции; 2) вынос с растительными остатками; 3) вымывание в грунтовые воды и смыв с поверхности; 4) потери в результате эрозионных процессов; 5) газообразные потери и т. д. [Минеев, 1988].

Баланс должен быть таким, чтобы плодородие почвы не понижалось. Академик Д.Н. Прянишников рекомендовал для систематического роста производительной способности почвы возвращать 100–130 % фосфора от его выноса с урожаем. По азоту и калию компенсация выноса должна составлять около 75–80 %.

Определение баланса питательных элементов имеет наибольшее значение для каждого конкретного поля севооборота. Качественные

показатели баланса элементов питания в севообороте и хозяйстве в целом дают надежное обоснование необходимого уровня применения удобрений. Пример расчета *выноса элементов питания* урожаями культур в севообороте представлен в таблице 29.

Таблица 29

Пример определения выноса элементов питания урожаями в севообороте

Культура	Плановый урожай, ц/га	Вынос плановым урожаем, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пар	—	—	—	—
Озимая рожь	20,0	58,0	И так далее	
Горох	16,0	83,2		
Подсолнечник, з.м.	180,0	72,0		
Гречиха	15,0	48,0		
Ячмень	22,0	63,8		
Всего за севооборот		325,0		
В среднем с 1 га пашни		54,2		

Справочные таблицы для расчетов находятся в приложениях 7 и 8. Рассчитав *потребность в удобрениях*, можно определить, сколько питательных элементов поступает в севооборот, т. е. приходную часть баланса (табл. 30).

Таблица 30

Пример расчета потребности в удобрениях по выносу элементов питания с учетом коэффициента использования элементов из удобрений

Культура севооборота	Прибавка, ц/га	Требуется для прибавки, кг/га			Требуется удобрений с учетом Киу, кг/га			Требуется удобрений, ц/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{aa}	P _c	K _c
Пар	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Озимая рожь	4,0	11,6	И т. д.		23,2	И т. д.		0,67	И т. д.	
Горох	4,0	20,8			41,6			1,21		
Подсолнечник, з.м.	45	18,0			36,0			1,04		

Окончание табл. 30

Гречиха	3,0	9,6		19,2			0,56		
Ячмень	4,4	12,8		25,6			0,74		
Всего в севообороте		72,8		145, 6			4,22		
В среднем на 1 га пашни	12,1			24,3			0,7		

Kuy – коэффициент использования элемента из удобрения. Известно, что из минеральных удобрений растения используют азота и калия – 50–60 %, фосфора – 15 %. Из органических – азота и фосфатов – 20–30 %, калия – 50–60 %.

Для оценки действия принятой системы удобрения в севообороте на почвенное плодородие необходимо определить соотношение выноса элементов питания урожаями с величиной возмещения выноса внесением элементов питания с удобрениями.

Для этого необходимо рассчитать баланс элементов питания в севообороте. Как следует из таблицы 29, с урожаем в севообороте отчуждается в среднем 54,2 кг азота с гектара. Принятой системой удобрения, основанной на приросте урожая, в среднем за севооборот вносится 24,3 кг азота на гектар (табл. 30). Составим пропорцию:

$$54,2 \text{ кг} - 100 \%,$$

$$24,3 \text{ кг} - X,$$

$$X = 44,8 \text{ \%} .$$

Таким образом, возмещение азота составляет 44,8 %. Аналогичным образом эти значения определяются по фосфору и калию. Основываясь на величинах возврата азота, фосфора и калия, можно сделать вывод о воспроизводстве почвенного плодородия и возможности или не возможности систематического повышения урожайности сельскохозяйственных культур [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Задания для самостоятельной работы

1. Определите баланс элементов питания в севообороте: парозимая рожь-ячмень-кукуруза-пшеница-овес.
2. Определите потребность в элементах питания и удобрениях: аммонийная селитра (азота 34,6 %), двойной суперфосфат (фосфора 46 %), калий сернокислый (калия 50 %).
3. Дайте оценку действия принятой системы удобрения на почвенное плодородие.

8.1.2. Баланс гумуса в севообороте и потребность в органических удобрениях

Содержание и динамика гумуса в почвах зависят от почвенно-климатических условий, структуры посевных площадей, интенсивности обработки почв, количества и качества применяемых удобрений и мелиорантов. Знание баланса гумуса в севообороте нужно для определения потребности в органических удобрениях. Удобрения, повышая продуктивность культур, увеличивают и количество их корневых и пожнивных остатков, а, следовательно, возврат органического вещества пожнивными остатками и с органическими удобрениями. Органические удобрения, непосредственно пополняя запасы органического вещества, способны при определенных дозах на разных почвах поддерживать бездефицитный баланс гумуса.

Баланс гумуса можно рассчитать на основе баланса азота. Принимается (с некоторым допущением), что снижение содержания азота в почве примерно равно потреблению его растениями. Считается, что в гумусе соотношение $C : N = 20$, т. е. гумуса расходуется (минерализуется) в 20 раз больше, чем потребляется азота [Рудой, 2010].

Последовательность расчета баланса гумуса представлена в таблице 31. Рассмотрим баланс гумуса на примере поля озимой ржи. Плановый урожай озимой ржи 20,0 ц/га. Для формирования 1,0 ц требуется 2,9 кг азота (приложение 7), на весь урожай $20,0 \text{ ц/га} \cdot 2,9 \text{ кг} = 58 \text{ кг}$.

Скорость минерализации гумуса зависит от *гранулометрического состава почвы*, и поэтому на исчисленное количество N почвы, которое израсходовано на формирование урожая и на основании которого устанавливается масса минерализации гумуса, вводится поправка. Для среднесуглинистых почв используется поправочный коэффициент, равный 1,0, среднесуглинистых – 0,8, легкосуглинистых – 1,2.

Различается *скорость минерализации* между культурами, и поэтому также вводится поправка. Для многолетних трав установлен коэффициент, равный 1,0, для культур сплошного сева – 1,2, для пропашных культур – 1,6 [Рудой, 2010].

Таблица 31

Расчет баланса гумуса в севообороте

Культура севооборота	Плановый урожай, ц/га	Вынос N почвы, кг/га	Расход N почвы с учетом поправок			Минерализация гумуса, ц/га	Масса поживно-корневых остатков, ц/га	Образование гумуса из остатков, ц/га	Баланс гумуса, ц/га	Требуется навоза для покрытия дефицита гумуса, т/га
			на гранулометрический состав	на группу культур	всего					
Пар*	–	–	–	–	–	25,0	–	–	-25,0	28,0
Озимая рожь	20,0	58,0	46,4	55,7	55,7	11,1	24,0	3,6	-7,5	8,3
Горох	16,0	83,2	66,6	79,9	79,9	16,0	19,2	2,9	-13,1	14,4
Подсолнечник, з.м.	180,0	72,0	57,6	92,2	92,2	18,4	21,6	2,2	-16,2	17,8
Гречиха	15,0	48,0	38,4	46,1	46,1	9,2	33,0	4,5	-4,7	5,8
Ячмень	22,0	63,8	51,0	61,2	61,2	12,2	24,2	3,6	-8,6	9,5
Требуется навоза на весь севооборот										83,8
Требуется навоза на 1 га севооборота										14,0

*Минерализация в паровом поле составляет 25 ц/га.

После каждой культуры на поле остаются поживно-корневые остатки, которые подвергаются минерализации и одновременно гумификации. Накопление поживно-корневых остатков определяется видом возделываемой культуры и ее урожайностью (табл. 32). Например, для всех зерновых при урожайности 16-20 ц/га используется коэффициент накопления поживно-корневых остатков, равный 1,2. Урожайность 20 ц/га умножаем на коэффициент 1,2, получаем 24,0 ц/га.

Интенсивность гумификации культур различная (табл. 33). Из таблицы 33 следует, что коэффициент гумификации зерновых культур равен 0,15. Следовательно, 24 ц поживно-корневых остатков озимой ржи образовали 3,6 ц гумуса. Таким образом, на формирование урожая озимой ржи в 20 ц/га израсходовано в результате минерализации 11,1 ц/га гумуса. А из оставшихся поживно-корневых остатков образовалось 3,6 ц/га гумуса. Следовательно, баланс гумуса составляет: $3,6 - 11,1 = -7,5$ ц/га. Характер баланса отрицательный. Для покрытия расхода гумуса (оптимизация баланса) необходимо внести органические удобрения [Рудой и др., 2007]. Установлено, что при содержании в навозе 25 % сухого вещества и влажности 75 % коэффициент гумификации равен 0,20. Из одной тонны такого навоза в почве образуется 0,5 ц гумуса, т. е. для образования 1 ц гумуса требуется 1 т навоза. Если навоз перепревший, то для образования 1 ц гумуса достаточно 1,1 т навоза. Поэтому дефицит гумуса в 7,5 ц на поле озимой ржи покрывается внесением 8,3 т перепревшего навоза (см. табл. 31).

Задания для самостоятельной работы

1. Определите баланс гумуса в севообороте на черноземе: пар-пшеница-ячмень-кукуруза-пшеница-овес.
2. Определите потребность в навозе для оптимизации баланса гумуса в севообороте.

Таблица 32

**Зависимость накопления пожнивно-корневых остатков
от урожайности культуры (ВНИПТИОУ)**

Зерновые и зерно-бобовые		Многолетние травы (сено)		Однолетние травы (зеленая масса)		Кукуруза на си-лос		Картофель, корнеплоды, овощи		Гречиха	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
11–15	1,3	11–20	1,9	51–100	0,28	101–150	0,12	101–150	0,13	< 10,0	2,5
16–20	1,2	21–30	1,6	101–150	0,25	151–200	0,12	151–200	0,12	11–15	2,2
21–25	1,1	31–40	1,4	151–200	0,20	201–250	0,11	201–250	0,12	16–20	2,0
26–30	1,0	41–50	1,3	201–250	0,15	251–300	0,11	251–300	0,12	21–25	1,6
> 30	0,9	51–60	1,2	251–300	0,13	> 300	0,10	> 300	0,11	> 25	1,5

*Примечание. Графа 1 – урожай основной продукции, ц/га; графа 2 – норматив накопления сухого вещества пожнивно-корневых остатков на 1 ц основной продукции.

Таблица 33

Интенсивность гумификации пожнивно-корневых остатков культур

Пожнивно-корневые остатки сельскохозяйственных культур в почве	Коэффициент гумификации
Многолетние травы	0,18
Зерновые и зерно-бобовые	0,15
Картофель, корнеплоды, овощи	0,08
Силосные	0,10

8.2. Способы и сроки внесения удобрений в севообороте

Годовую норму удобрений под основные культуры можно вносить в разные сроки и различными способами. Различают следующие способы внесения удобрений: *основное (допосевное), припосевное (в рядки, лунки, гнезда), послепосевное (подкормка в период вегетации)*.

Основное удобрение предназначено для удовлетворения потребности растений в питательных элементах после всходов до конца вегетации. Для подавляющего большинства культур в условиях достаточного увлажнения и орошаемого земледелия оно составляет 60–90 %, а недостаточного увлажнения – 90–100 % общей дозы. Основное внесение органических и фосфорно-калийных удобрений обычно осуществляют осенью, а азотных – весной под предпосевную обработку почв в зонах достаточного увлажнения и вместе с другими – осенью под основную обработку почвы в зонах недостаточного увлажнения с заделкой соответствующими орудиями вразброс или локально, причем последний способ всегда эффективнее. Преимущество глубокой заделки всех удобрений до посева возрастает с увеличением дефицита влажности почвы и засушливости климата.

Припосевное (рядковое), или припосадочное, удобрение предназначено для удовлетворения потребности растений в элементах питания в период от прорастания семян до появления полных всходов. Его вносят специальными комбинированными сеялками. Для всех культур особенно большое значение имеет внесение в рядки гранулированного суперфосфата, так как в начальный период роста растения особенно чувствительны к недостатку фосфора. Под зерновые культуры гранулированный суперфосфат или аммофос могут быть внесены обычными зерновыми сеялками в смеси с семенами. Под сахарную свеклу, картофель, кукурузу и другие культуры вместе с суперфосфатом при посеве вносят и небольшие дозы азотных и калийных удобрений или комплексные удобрения. Благоприятные условия питания с начала вегетации способствуют формированию у молодых растений более мощной корневой системы, что обеспечивает в дальнейшем лучшее использование питательных элементов из почвы и основного удобрения.

Послепосевное удобрение (подкормка) предназначено для удовлетворения потребностей растений чаще всего в азоте в период максимального поглощения их в период вегетации. На долю его приходится 20–30 % общей дозы. Роль этого способа для всех культур воз-

растает в орошающем земледелии и с повышением влагообеспеченности почв.

Ранневесенняя подкормка обязательна при выращивании озимых культур. Внесение азота в этот период повышает интенсивность физиологических процессов в растениях, ускоряет отрастание посевов и их рост, усиливает кущение и закладку репродуктивных органов. Подкормки проводят поверхностно с заделкой в почву, вразброс и локально.

Составление плана распределения удобрений (приложение 11) основывается на почвенно-агрохимических условиях, биологических свойствах культур и технологии возделывания их в конкретном севообороте. Вначале, исходя из баланса гумуса, устанавливается норма и место внесения навоза или других органических удобрений. Чаще всего в зерновых севооборотах навоз вносят под озимые культуры, в зернопропашных – под пропашные и озимые, в овощных – под наиболее отзывчивые культуры, такие, например, как огурец и лук.

Наиболее эффективными являются *припосевной* и *основной* способы внесения минеральных удобрений. Подкормки оправданы только в редких случаях, когда культура не переносит высокую концентрацию почвенного раствора, и большую дозу удобрений необходимо внести в несколько сроков. Подкормку используют также, когда не представилась возможность внести нужную дозу заблаговременно.

Если применяются компости, для приготовления которых использовалась фосфоритная мука (или минеральные удобрения), то действующее вещество этих компонентов в плане распределения указывается в графах «минеральные удобрения» [Рудой, 2010].

Важнейшее значение в реализации системы применения удобрений имеет календарный план (приложение 12). В нем указываются примерные сроки внесения удобрений, способы внесения, формы использованных удобрений и их объем. Он позволяет рационализировать использование транспортных и рабочих машин по внесению удобрений. Это рабочий план структурного подразделения хозяйства, позволяющий в полном объеме реализовать разработанную систему применения удобрений и осуществлять оперативный контроль.

Задания для самостоятельной работы

1. На основе данных, выданных преподавателем, составьте план распределения удобрений в севообороте.
2. Разработайте календарный план внесения удобрений.

9. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

9.1. Технологические схемы применения минеральных удобрений

В зависимости от расстояния доставки удобрений, наличия машин, доз удобрений, организации работ по подготовке, погрузке, транспортировке и внесению удобрений применяют разные технологические схемы работы: прямоточную, перегрузочную и перевалочную [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002; Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Прямоточная технология осуществляется по схеме: склад – разбрасыватель – поле и используется при небольших радиусах перевозок от склада к полю. Удобрения от места хранения (склада) транспортируют в поле и распределяют их по поверхности почвы одним агрегатом транспортно-разбрасывающего типа. По этой технологии используются автомобильные разбрасыватели КСА-3 или КСА-7, а также тракторные агрегаты, составленные из прицепных разбрасывателей 1-РМГ-4, РУМ-5, РУМ-8. При радиусе 3–5 км используют тракторные, а при 5–8 км и более автомобильные разбрасыватели и при радиусе 10–12 км – сельскохозяйственную авиацию [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002].

Перегрузочная технология осуществляется по схеме: склад – транспортные машины – перегрузчики – поле. На каждой операции технологического процесса используются специализированные машины. Удобрения доставляют в поле транспортно-перегрузочной машиной, например автозагрузчиком УЗСА-40 или автоперегрузчиком САЗ-3502, и перегружают в машины для внесения 1-РМГ-4, РУМ-5, РУМ-8 и др.

Перевалочная технология осуществляется по схеме: прирельсовый (портовый) склад – хозяйственный или межхозяйственный склад или площадка в поле. Далее по первой (перевалочно-прямоточной) или по второй (перевалочно-перегрузочной) схеме. Она используется при отсутствии транспортно-перегрузочных средств. Удобрения вывозят в поле транспортными средствами общего назначения и разгружают на площадки рядом с удобляемым полем. Загрузка агрегатов для внесения удобрений осуществляется на поле специализированными погрузчиками (грейферными или фронтальными сельскохозяйственного назначения: ПКУ-08 и др.). Перевалочная схема – это вынужденный

наименее эффективный вариант из-за возможных потерь, ухудшения качества удобрений и максимальных затрат труда и средств.

9.2. Технологические схемы применения органических удобрений

В зависимости от места хранения навоза, удаленности полей, на которых будут разбрасываться удобрения, а также технических данных машин для погрузки, транспортировки и разбрасывания удобрений и обеспеченности хозяйств этими машинами при внесении твердых органических удобрений применяют две технологические схемы: *прямоточную (ферма – навозоразбрасыватель – поле)* и *перевалочную (ферма – транспортное средство – место складирования у поля – навозоразбрасыватель – поле)*.

По *прямоточной технологической схеме* из прифермского хранилища навоз грузят в навозорасбрасыватели, которые вывозят его в поле и распределяют по поверхности почвы.

По *перевалочной технологической схеме* навоз вывозят на поля в течение всего года, укладывают в бурты и хранят в штабелях, в последующем распределяют по полю. В этом случае навозоразбрасыватели используют только для внесения удобрений, поэтому их сменная производительность значительно повышается.

Для погрузки твердых органических удобрений в транспортные средства и укладки в бурты применяют грейферные, фронтально-перекидные погрузчики и др. Вывозят органические удобрения автомобилями-самосвалами и тракторными прицепами самосвалами.

Для внесения твердых органических удобрений применяют машины ПРТ-16, РОУ-5, РОУ-6, 1-ПТУ-4 и др. [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Жидкие органические удобрения вносят по следующим технологическим схемам:

- а) прифермское навозохранилище – цистерна – полевое навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле;
- б) прифермское навозохранилище – трубопровод – полевое навозохранилище (гидрант) – цистерна-разбрасыватель – поле;
- в) навозохранилище – трубопроводная сеть – дождевальная установка – цистерна-разбрасыватель – поле [Васильев, Филиппова, 1988].

Схему А применяют при отсутствии трубопровода при перекачивании навоза из прифермского хранилища в полевое.

Схема Б при отсутствии трубопроводной сети и дождевальных установок намного эффективнее первой. Транспортировка жидкого навоза из прифермского хранилища в полевое по трубам с последующим внесением его цистернами-разбрасывателями позволяет намного снизить транспортные расходы и значительно повысить производительность труда. При удобрении полей по схемам А и Б навоз не разбавляют водой.

Схему В применяют при наличии трубопроводной сети и установки для дождевания. При этом используемый навоз разбавляют водой в соотношении 1 : 5–7.

9.3. Контроль и оценка качества работы машин при внесении минеральных и органических удобрений

Агротехнические требования к качеству внесения удобрений заключаются в обеспечении равномерного распределения удобрений в почве, которое зависит от конструкции машин, способов разбрасывания, внесения и глубины заделки, а также от качества, свойств удобрений и других условий [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002].

Для поверхностного основного внесения минеральных удобрений применяют кузовные разбрасыватели с центробежными рабочими органами. Они характеризуются высокой производительностью и относительно низкой энергоемкостью. Обеспечивают возможность внесения высоких доз минеральных удобрений. К ним относятся НРУ-0,5; КСА-3; 1-РМГ-4, РУМ-5, РУМ-8 и др.

Для внутрипочвенного основного внесения удобрений выпускаются различные машины. По назначению их объединяют в три группы: специализированные, комбинированные и универсальные. Специализированные включают в себя различные удобрители, подкормщики и растениепитатели. Комбинированные машины выполняют одновременно несколько операций за один проход по полю, например обработку почвы, внесение удобрений, посев. Универсальные машины поочередно выполняют ряд операций, например допосевное внесение удобрений, прикорневую подкормку озимых, а также посев зерновых и других культур.

Для внесения удобрений используются специализированные машины. Низкое качество внесения туков присуще машинам с центробежными рабочими органами – 1-РМГ-4, РУМ-5 и др. Следует отказаться от их использования и способа поверхностного внесения мине-

ральных удобрений. Наиболее экономичны локальные способы – внутрипочвенное внесение.

Предпочтительны комбинированные машины, которые выполняют за один проход по полю несколько технологических операций. Среди универсальных машин следует отметить КПГ-2,2 и ГУН-4. Это глубокорыхлители-удобрители. Одновременно с плоскорезной обработкой почвы вносятся внутрипочвенно удобрения. Зернотуковая стерневая сеялка СЗС-2,1 используется для локального внесения основной дозы удобрений до посева или одновременно с посевом.

Зернотуковые сеялки оснащаются емкостью для удобрений, это позволяет осуществлять припосевное внесение удобрений. К ним относятся СЗ-3,6; СЗП-3,6; СУК-24А; СУЛ-48 и др. Они позволяют вносить минеральные удобрения в количестве 200–300 кг/га. Для внесения минеральных удобрений одновременно с посевом кукурузы служат навесные сеялки СКНК-6 и СКНК-8. Внесение туков при посадке картофеля осуществляется картофелесажалкой СКМ-6. Внесение удобрений одновременно с посевом овощных культур производят комбинированными овощными сеялками СКОН-4,2; СКОШ-2,8. Эти сеялки позволяют вносить при посеве до 750 кг/га туков.

Для внесения удобрений одновременно с обработкой междурядий используются культиваторы-растениепитатели – КРН-4,2; КОН-2,8ПМ и др. Культиватор КРН-4,2 предназначен для внесения до 750 кг/га туков, КОН-2,8ПМ – 300 кг/га.

Для внесения навоза и других твердых органических удобрений используются разбрасыватели РОУ-5, РТО-4, РПН-4, агрегируемые тракторами МТЗ. Они позволяют вносить 54–60 т/га навоза.

Машины ПРТ-10 и ПРТ-16 агрегируются с тракторами К-701, Т-150К и обеспечивают внесение 40–60 т/га навоза.

Машина МЛГ-1 предназначена для транспортировки органических удобрений, нарезки борозд, внесения и заделки удобрений.

Машины для посева зерновых, зернобобовых и пропашных культур с одновременным внесением удобрений работают только по перегрузочной технологии. Удобрение от склада до поля доставляют и загружают в туковые сеялки автопогрузчиками УЗСА-40 и др. [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Предельно допустимая неравномерность внесения удобрений в соответствии с агротехническими требованиями составляет:

- до 25 % у разбрасывателей центробежного типа (КСА-3, 1РМГ-4, РУМ-3, РУМ-5, РУМ-8, НРУ-0,5, РМС-6) и при внесении удобрений самолетом АН-2 и вертолетами МИ-2, Ка-26;
- до 15 % у прицепных туковых сеялок;
- до 8 % у комбинированных сеялок, посадочных машин и культиваторов-растениепитателей;
- до 10–15 % у машин по внесению жидких минеральных удобрений (ПОУ, АБА-0,5М, АША-2 и др.);
- до 30 % у машин для пневматического рассева пылящих мелиорантов и фосфоритной муки (АРУП-8 и РУП-8).

Неравномерность распределения разбросного внесения удобрений при возделывании культур по современным технологиям не должна превышать 15 %. Отклонение фактической дозы допускается не более 10 % от заданной дозы, перекрытие стыковых проходов – не более 5 %.

Определение потребности в машинах для внесения удобрений

Необходимое количество машин для внесения удобрений определяют по формуле [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007]:

$$M = S : (H \cdot K \cdot D),$$

где S – объем работы – удобляемая площадь, га;

H – сменная выработка, га;

K – коэффициент сменного использования машин (для напряженного периода – 1,5);

D – продолжительность периода внесения, дни.

Пример расчета. В хозяйстве машиной 1-РМГ-4 необходимо внести минеральные удобрения на площади 1750 га по 8,5 ц/га. Машина работает по 1,5 смены ($K = 1,5$). Продолжительность внесения удобрений – 20 дней. Сменная норма выработки 16 га.

$$M = 1750 : (16 \cdot 1,5 \cdot 20) = 3,6 \text{ машины.}$$

Учитывая, что работа разбрасывателя ненадежная, следует взять 4 машины.

9.4. Техника безопасности при работе с удобрениями

Все работники перед началом работы с удобрениями должны пройти инструктаж по технике безопасности [Муравин, 2003]:

- К работе с удобрениями и мелиорантами допускаются лица не моложе 18 лет.
- Все работающие с удобрениями должны использовать спецодежду: комбинезон, рукавицы, очки, респираторы, а при работе с жидким аммиаком – противогазы.
- Во время внесения удобрений нельзя находиться вблизи разбрасывающих рабочих органов машины.
- Загрузку удобрений в машины можно производить только при полной их остановке.
- При транспортировке и внесении удобрений нельзя находиться между трактором и машиной.
- При работе в респираторе необходимы пятиминутные перерывы через каждые 30 мин [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].
- По окончании работы следует принять душ или тщательно вымыться с мылом.
- На месте работы всегда должны быть запас чистой воды и аптечка.

Задания для самостоятельной работы

Разработайте технологические схемы применения минеральных и органических удобрений, определите набор и количество туковых машин для условий:

- 1) склад минеральных удобрений находится в непосредственной близости с севооборотом;
- 2) склад минеральных удобрений удален на 8–10 км от севооборота;
- 3) склад минеральных удобрений удален на 16 км от севооборота;
- 4) навозохранилище в непосредственной близости от севооборота.

Объемы минеральных и органических удобрений определяют по индивидуальным данным.

10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Применение удобрений в сельском хозяйстве должно быть экономически выгодным и энергетически целесообразным. Эффективность удобрений устанавливают путем проведения полевых и производственных опытов в типичных почвенно-климатических условиях для конкретной территории. Различают агрономическую, экономическую и энергетическую эффективность удобрений.

10.1. Агрономическая эффективность удобрений

Агрономическая эффективность – это оплата единицы удобрений полученной прибавкой товарной продукции (или хозяйственного урожая) культуры (или севооборота) в конкретных почвенно-климатических условиях. В севооборотах ее выражают в кормовых или зерновых единицах.

По обобщенным данным многолетних полевых опытов многими исследователями установлено, что оплата 1 кг д.в. минеральных удобрений (при оптимальных дозах в каждом опыте) прибавками основной продукции может составлять, кг: озимой пшеницы – 3,3–5,5; озимой ржи – 2,3–6,2; яровой пшеницы – 2,0–6,0; ячменя – 2,0–8,2; овса – 2,0–7,0; кукурузы – 1,2 – 7,1; картофеля – 18–47; подсолнечника – 1,8–4,0; овощей 10–50; плодов и ягод – 10–40 [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002].

Эффективность удобрений под каждой культурой при прочих равных условиях зависит от доз и способов их внесения. Оптимальные дозы основного внесения минеральных удобрений обеспечивают в среднем оплату каждого кг удобрений не менее 5 кг зерновых единиц.

10.2. Экономическая эффективность удобрений

Экономическая эффективность удобрений характеризуется следующими показателями: ростом урожайности и размером дополнительной продукции (прибавкой урожая) в натуральном и стоимостном выражении в расчете на 1 га и на всю площадь под культурой; снижением себестоимости единицы сельскохозяйственной продукции и экономией затрат на весь объем продукции или площади; дополнительным чистым доходом в расчете на 1 га и всю площадь; изменением производительности труда, рентабельностью и окупаемостью дополнительных затрат [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Порядок определения показателей эффективности

Для выявления эффекта от применения удобрений необходимо сопоставить стоимость полученной продукции с затратами на ее производство при использовании удобрений и без них.

При определении стоимости продукции учитывают количество основной продукции (зерно, клубни, корнеплоды, сено, льноволокно, льносемена) и побочной (солома, мякина, ботва и т. д.). Обязательно учитывается качество продукции – содержание белка и клейковины в зерне, сахаристость сахарной свеклы, содержание крахмала и товарность клубней картофеля, стандартность овощей и т. п.

Продукция, которая получена за счет удобрений, оценивается по ценам фактической реализации. Урожай кормовых культур и побочной продукции (например соломы) оценивают через стоимость 1 ц кормовых единиц, которая приравнивается к цене 1 ц овса.

Размер прибавки урожая (Ууд) от минеральных удобрений в хозяйствах определяется по следующей формуле:

$$\text{Ууд} = (\text{Уф} \cdot \text{Ду}) : 100 \%,$$

где Уф – фактический урожай в хозяйстве, ц/га;

Ду – доля участия удобрений во всем урожае, % (по данным опытов с удобрениями). Нормативы приведены в таблице 34.

Найдя величину прибавки урожая и зная дозу внесения удобрений под культуру, можно определить величину окупаемости 1 кг действующего вещества урожаем, например, зерном.

$$O = \text{Ууд} : \text{Дуд},$$

где О – окупаемость;

Ууд – прибавка, кг/га;

Дуд – доза удобрения, кг/га

Так, в таблице, при внесении дозы удобрений в размере 94 кг д.в. на гектар получена прибавка урожая пшеницы 5,4 ц/га. $O = 540 \text{ кг/га} : 94 \text{ кг (д.в.)} = 5,7$. То есть на каждый кг д.в. удобрения получено 5,7 кг зерна.

Таблица 34

**Нормативы для определения прибавки урожая от удобрений
в Сибири**

Культура	Урожайность, ц/га			Доза, кг/га д.в.	Доля прироста от NPK, %	Оплата, кг з.е. на 1 кг д.в.
	без удобрения	с удобрением	прирост			
Зерновые (зерно)	16,7	19,0	2,3	16	12	14
		22,1	5,4	94	24	5,7
		23,5	6,8	134	29	5,1
		24,1	7,4	211	31	3,5
Картофель	188	240	52	171	22	31
		259	71	213	27	33
		262	74	349	28	21
Овощи	461	535	74	214	14	35
		580	119	305	21	40
Кукуруза	227	298	71	191	24	37
		307	80	239	26	33
Многолетние травы (сено)	36,8	44,6	7,8	162	18	5,0
		48,2	11,4	189	24	8,1
Естественные сенокосы (сено)	18,9	39,4	20,5	180	52	11,4
		44,3	25,4	208	57	12,1
		45,1	26,2	240	58	10,9

Затраты (3) на получение прибавки урожая от применения удобрений учитываются по всем статьям, включая стоимость приобретения, фактические расходы на транспортировку, хранение, подготовку к использованию, а также затраты на уборку, перевозку, первичную переработку, хранение и реализацию урожая.

Состав затрат может быть представлен следующим образом

$$3 = З_{уд} + З_{вн} + З_{уб} + З_{р} + З_{н},$$

где 3 – затраты на получение прибавки урожая от применения удобрений;

Зуд – затраты на приобретение удобрений;

Звн – затраты на разгрузку, укладку, хранение, подготовку, перевозку в поле и внесение удобрений;

Зуб – затраты на уборку, доработку, перевозку, хранение дополнительной продукции;

Зр – затраты на реализацию дополнительной продукции, полученной от применения удобрений;

Зн – накладные расходы.

Амортизация, текущий ремонт, техобслуживание и горючесмазочные материалы на работу тракторов, машин, содержание складских помещений исчисляются по принятым нормативам. Накладные расходы устанавливаются в процентах от прямых затрат (оплата труда, амортизация), связанных с применением удобрений.

Чистый доход хозяйства от применения удобрений под сельскохозяйственную культуру определяется по формуле

$$\text{Чд} = (C+c) - З,$$

где Чд – чистый доход;

С – стоимость основной продукции (включая сопряженную), которая получена в результате применения удобрений, руб.;

с – стоимость побочной продукции, руб.;

З – сумма затрат, связанных с применением удобрений для получения прибавки урожая, руб.

Увеличение чистого дохода от применения удобрений определяется по разнице чистого дохода с удобренной и неудобренной площади.

Уровень рентабельности производства определяется отношением чистого дохода к затратам:

$$P = (\text{Чд}/З) \cdot 100,$$

где Р – рентабельность, %;

Чд – чистый доход, руб.;

З – затраты, руб.

Задания для самостоятельной работы

1. Определите окупаемость продукцией отдельных культур и севооборота в целом по результатам применения удобрений на прибавку урожая. Перевести прибавку урожая в зерновые единицы (приложение 13).
2. Определите рентабельность дополнительных затрат (%), связанных с применением удобрений. Условия индивидуальных задач выдаются преподавателем. Используются индивидуальные материалы занятия «Баланс элементов питания в севообороте».

10.3. Энергетическая эффективность удобрений

Необходимость увеличения производства сельскохозяйственной продукции предполагает непременное увеличение применения удобрений. Это связано с увеличением затрат невозобновляемой энергии. В настоящее время в развитых странах на производство продовольствия расходуется около 20–25 национальных энергоресурсов. Следует отметить, что если исключить энергию солнечных лучей, то производство продуктов питания и сырья для промышленности по существу является энергетически убыточным.

Сверх энергии солнца, которая используется в растениеводстве, поставщиком добавочной энергии являются сельхозмашины, которые приводятся в движение энергией природного топлива. На производство сельхозмашин, удобрений, их транспортировку, внесение в почву и так далее также используется энергия.

Энергия, которую затрачивают на производство материальных средств, в т. ч. и удобрений, а также то количество энергии, которое накапливается в растениеводческой продукции, принято выражать в джоулях. Джоуль – это единица энергии в Международной системе единиц СИ. Она равна работе, которая производится постоянной силой величиной в 1 ньютон для перемещения точки приложения на 1 м. В земледелии используются величины, которые выражаются в мегаджоулях – МДж. $1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж}$ [Рудой, Ерохина, Борцов, 2007].

Величины энергозатрат на производство удобрений изменяются в широком интервале, например на производство 1 кг азота – 36–80 МДж, 1 кг фосфора – 10–14 МДж, 1 кг калия – 2–9 МДж. В среднем в России на 1 кг азота затрачивается 86,8 МДж, фосфора –

12,6 МДж, калия – 8,3 МДж, на 1 кг д.в. в комплексном удобрении – 51,5 МДж. На 1 кг навоза затрачивается 0,42 МДж, торфо-навозного компоста – 1,7 МДж, известкового удобрения – 3,8 МДж и т. д.

Энергетические затраты зависят от формы удобрения. Так, на 1 кг физической массы сульфата аммония затрачивается 17,8 МДж, аммонийной селитры – 29,9 МДж, карбамида – 39,9 МДж.

Количество энергии, которое накапливается в растениеводческой продукции, приведено в таблице 35.

Таблица 35

Содержание энергии в растениеводческой продукции

Культура	Содержание энергии в 1 кг, МДж
Пшеница	16,61
Рожь	16,76
Ячмень	16,45
Горох	17,69
Гречиха	16,67
Овес	16,17
Просо	16,94
Лен-долгунец семена	20,68
Лен-долгунец волокно	18,01
Картофель	3,66
Овощи	1,44
Кормовые корнеплоды	4,10
Кукуруза, з.м.	4,10
Подсолнечник, з.м.	4,20
Многолетние травы	3,78
Люцерна	5,46
Однолетние травы	3,28

Энергетические затраты (Ao) на применение минеральных удобрений определяются по формуле [Минеев, 2006]

$$Ao = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K),$$

где H_N , H_P , H_K – фактическая доза внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений;

a_N , a_P , a_K – энергетические затраты в расчете на 1 кг д.в. азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Энергетическая эффективность применения удобрений определяется отношением количества энергии, полученной в прибавке урожая от удобрений, к затратам энергии на применение удобрений. Используется формула

$$\mathcal{E} = Q : Ao,$$

где \mathcal{E} – энергоотдача, биоэнергетический КПД (синонимы энергетической эффективности);

Q – количество энергии, которое накоплено прибавкой урожая, МДж;

Ao – затраты энергии на применение удобрений, МДж.

Приведем примеры на основе фактических данных в хозяйствах.

Первый. Расчет энергетической эффективности (энергоотдачи) минеральных удобрений при возделывании озимых зерновых культур по интенсивным технологиям в хозяйствах [Минеев, 2006].

1. Урожайность пшеницы 27,0 ц/га.
2. Доза минеральных удобрений $N_{80}P_{64}K_{17}$.
3. Прибавка урожая зерна за счет удобрений 7 ц/га.

$$\begin{aligned}\mathcal{E} = Q : Ao &= 700 \cdot 16,61 / (80 \cdot 86,6) + (64 \cdot 12,6) + (37 \cdot 8,3) = \\ &= 11\ 627 / 8\ 041 = 1,45 \text{ ед.}\end{aligned}$$

Таким образом, с энергетической точки зрения интенсивные технологии возделывания пшеницы были эффективными, так как энергоотдача превысила единицу.

Второй. Расчет энергетической эффективности (энергоотдачи) минеральных удобрений и навоза при возделывании картофеля в хозяйствах.

1. Урожай картофеля 210 ц/га.

2. Доза минеральных удобрений $N_{105}P_{85}K_{142}$, навоза – 76 т/га.

3. Прибавка урожая картофеля за счет удобрений: всего 126 ц/га, в т. ч. от минеральных удобрений – 70 ц/га, навоза – 56 ц/га.

а) энергетическая эффективность (энергоотдача) минеральных удобрений при выращивании картофеля:

$$\begin{aligned}\mathcal{E} = Q : Ao &= 700 \cdot 3,66 / (105 \cdot 86,6) + (85 \cdot 12,6) + (142 \cdot 8,3) = \\ &= 25\ 620 / 11\ 343 = 2,26 \text{ ед.}\end{aligned}$$

Таким образом, на единицу энергетических затрат получено 2,26 единицы энергии, содержащейся в прибавке урожая от минеральных удобрений;

б) энергетическая эффективность (энергоотдача) навоза при выращивании картофеля:

$$\mathcal{E} = Q : Ao = 5\ 600 \cdot 3,66 / 76\ 000 \cdot 0,42 = 20\ 496 / 31\ 920 = 0,64 \text{ ед.};$$

в) совокупная энергетическая эффективность (энергоотдача) минеральных удобрений и навоза при выращивании картофеля:

$$\begin{aligned}\mathcal{E} = Q_1 + Q_2 / Ao_1 + Ao_2 &= 25\ 620 + 20\ 496 / 11\ 343 + 31920 = \\ &= 46\ 116 \text{ МДж} / 42\ 263 \text{ МДж} = 1,07 \text{ ед.}\end{aligned}$$

В целом технологии при производстве картофеля эффективны, но отмечаются значительные различия в энергоотдаче от минеральных удобрений и навоза (соответственно 2,26 и 0,64).

Расчеты агрономической, экономической и энергетической эффективности применения удобрений позволяют наиболее объективно оценить систему удобрения в интенсивных технологиях выращивания полевых культур.

Задания для самостоятельной работы

Определите энергетическую эффективность (энергоотдачу) применения удобрений под каждую культуру и в целом для севооборота по материалам, выданным преподавателем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное развитие сельского хозяйства неразрывно связано с применением удобрений и мелиорантов, способствующих увеличению урожайности полевых культур и повышению плодородия почв. В последнее время значительно возрос интерес к производству экологически чистой сельскохозяйственной продукции. Поэтому использование удобрений и мелиорантов должно быть рациональным, экономически выгодным, экологически безопасным, обеспечивать получение большего количества качественной продукции. При правильном применении удобрения и химические мелиоранты способствуют иммобилизации токсических веществ и радионуклидов в почве, снижают их поступление в растения и в целом предохраняют почву от загрязнения токсикантами.

Для сбалансированного питания растений очень важен строго дифференцированный подход к применению удобрений с учетом обеспеченности почв элементами питания, биологических особенностей питания растений и других факторов.

Учебное пособие поможет студентам получить новые агрохимические знания и умения, овладеть навыками аналитической работы по определению агрохимических показателей, используемых при оценке плодородия почвы, качества, безопасности и технологических свойств сельскохозяйственной продукции, использовать в своей будущей работе методы комплексной (почвенной и растительной диагностики) питания сельскохозяйственных культур, научиться распознавать минеральные удобрения, рассчитывать дозы и обосновывать необходимость внесения удобрений, правильно выбирать приемы и технологии внесения удобрений. Ведь первоочередную роль в применении удобрений и мелиорантов, интенсификации сельского хозяйства играют квалифицированные кадры, способные творчески внедрять достижения научно-технического прогресса в области химизации земледелия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – Москва: Изд-во МГУ, 1970. – 478 с.
2. Берзин, А.М. Зеленые удобрения в Средней Сибири / А.М. Берзин; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2002. – 394 с.
3. Большой практикум по почвоведению с основами геологии: учебное пособие / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко, А.А. Белоусов, О.А. Власенко; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2007. – 375 с.
4. Бугаенко, Н.И. Основные направления формирования торфяной промышленности / Н.И. Бугаенко // Высокие технологии добычи, глубокой переработки и использования озерно-болотных отложений: материалы международной научно-практической конференции. – Томск, 2003. – С. 16–22.
5. Бугаенко, Н.И. Стратегия создания малообъемных высокорентабельных производств по комплексной переработке торфа – есть стратегия формирования торфяной отрасли промышленности нового поколения / Н.И. Бугаенко, С.Г. Грищенко // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2001. – С. 43–46.
6. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – Москва: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
7. Возбуцкая, А.Е. Химия почвы: учебное пособие / А.Е. Возбуцкая. – Москва: Высшая школа, 1968. – 427 с.
8. Воробьевая, Л.А. Теория и практика химического анализа почв / Л.А. Воробьевая. – Москва: ГЕОС, 2006. – 400 с.
9. Гамзиков, Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – Москва: Наука, 1981. – 266 с.
10. Гамзиков, Г.П. Возможности использования природных агрономических ресурсов в качестве удобрений / Г.П. Гамзиков // Болота и биосфера: материалы VI Всероссийской научной школы. – Томск, 2007. – С. 28–32.
11. Демьяненко, Т.Н. Химический анализ почв: методические указания / Т.Н. Демьяненко, Е.Ф. Формова. – Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2004. – 60 с.

12. Ефимов, В.Н. Пособие к учебной практике по агрохимии / В.Н. Ефимов, М.Л. Горлова, Н.Ф. Лунина. – Москва: КолоС, 2004. – 192 с.
13. Инишева, Л.И. Болотные ресурсы и основные направления по развитию сапропелеторфодобывающей и перерабатывающей промышленности / Л.И. Инишева, Л.С. Михантьева // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2001. – С. 14–20.
14. Иодко, С.Л. Новая модификация дисульфоfenолового метода определения нитратов в почве / С.Л. Иодко, И.Н. Шарков // Агрохимия. – 1994. – № 4. – С. 95–97.
15. Коршунова, Ю.А. Сапропели Енисейского района Красноярского края – свойства, перспективы использования / Ю.А. Коршунова, О.А. Власенко, Л.Р. Мукина // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2001. – С. 145–146.
16. Кочергин, А.Е. Определение потребности зерновых культур в азотных удобрениях на черноземах Западной Сибири / А.Е. Кочергин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1965. – № 2. – С. 5–8.
17. Крупкин, П.И. Способы повышения плодородия почв: учебное пособие / П.И. Крупкин; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2011. – 212 с.
18. Крупкин, П.И. Эффективность азотных удобрений в черноземной зоне Западной Сибири / П.И. Крупкин // Агрохимия. – 1982. – № 11. – С. 3–12.
19. Мальцев, В.Т. Условия азотного питания полевых культур и применения азотных удобрений на почвах Приангарья: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Мальцев Валерий Трофимович. – Омск, 2000. – 40 с.
20. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В.Г. Минеев. – 3-е изд. – Москва, 2006. – 720 с.
21. Минеев, В.Г. Экологические проблемы агрохимии: учебное пособие / В.Г. Минеев. – Москва: МГУ, 1988. – 284 с.
22. Мукина, Л.Р. Запасы и ресурсы сапропеля и торфа в Красноярском крае и перспективы их использования / Л.Р. Мукина, В.С. Миронов // Изучение и хозяйственное использование торфяных

и сапропелевых ресурсов: материалы международного симпозиума. – Тюмень, 2006. – С. 135–156.

23. Мукина, Л.Р. О перспективах использования сапропелей Красноярского края / Л.Р. Мукина // Высокие технологии добычи, глубокой переработки и использования озерно-болотных отложений: материалы Международной научно-практической конференции. – Томск, 2003. – С. 60–67.

24. Муравин, Э.А. Агрохимия: учебное пособие / Э.А. Муравин. – Москва: КолосС, 2003. – 384 с.

25. Назарюк, В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений / В.М. Назарюк. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 364 с.

26. Пигарева, Н.Н. Диагностика азотного питания растений на мерзлотных почвах Бурятии / Н.Н. Пигарева // Агрохимия. – 1999. – № 3. – С. 21–25.

27. Пути повышения плодородия почвы и рекомендованные сорта сельскохозяйственных культур в Красноярском крае: рекомендации / под ред. С.В. Брылева. – Красноярск, 2009. – 93 с.

28. Рудой Н.Г. Агрохимия: методические указания к курсовой работе / Н.Г. Рудой; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2010. – 39 с.

29. Рудой, Н.Г. Лабораторно-практические занятия по агрохимии: методические указания / Н.Г. Рудой, Н.Л. Ерохина, В.С. Борцов; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2007. – 67 с.

30. Рудой, Н.Г. Оптимизация минерального питания: учебное пособие / Н.Г. Рудой; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2008. – 163 с.

31. Рудой, Н.Г. Производительная способность почв Приенисейской Сибири: монография / Н.Г. Рудой; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2010. – 240 с.

32. Рудой, Н.Г. Фосфатное состояние почв и эффективность фосфорных удобрений в Средней Сибири / Н.Г. Рудой; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2003. – 26 с.

33. Танделов, Ю.П. Плодородие почв и эффективность удобрений в Средней Сибири / Ю.П. Танделов. – Москва: Изд-во МГУ, 1998. – 302 с.

34. Удобрения из минерального и органического сырья и их агрохимическая эффективность: учебное пособие / Л.Л. Убугунов,

М.Г. Меркушева, Н.Е. Абашеева [и др.]. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2013. – 353 с.

35. Ульянова О.А. Нетрадиционные удобрения и технологии их применения: учебное пособие / О.А. Ульянова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2009. – 159 с.

36. Ульянова, О.А. Агрохимия: учебное пособие / О.А. Ульянова, Е.Н. Белоусова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2013. – 122 с.

37. Ульянова, О.А. Экологическая оценка применения короцеолитового субстрата / О.А. Ульянова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2004. – 142 с.

38. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В.В. Церлинг. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

39. Чайкина, М.В. Перспективы использования фосфатного сырья Сибирских месторождений в качестве удобрений / М.В. Чайкина, И.В. Науменко // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2001. – С.115–119.

40. Чечеткина, Н.В. Растительная диагностика питания сельскохозяйственных растений: учебное пособие / Н.В. Чечеткина, М.И. Демина, А.В. Соловьев. – М., 2010. – 115 с.

41. Чупрова, В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири: монография / В.В. Чупрова. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1997. – 166 с.

42. Шпедт, А.А. Учебная практика по почвоведению и агрохимии / А.А. Шпедт, О.А. Ульянова, В.С. Борцов; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2008. – 76 с.

43. Ягодин, Б.А. Агрохимия: учебное пособие для вузов / Б.А. Ягодин, В.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – Москва: Колос, 2002. – 584 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 Содержание гипса в мелиоранте, %

Мелиорант	Содержание CaSO_4 , %
Гипс сыромолотый ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	71–73
фосфогипс (содержит 2–3 % P_2O_5)	70–75
глиногипс (содержит 1–11 % глины)	60–90

Приложение 2 Содержание CaCO_3 в известковых материалах, %

Мелиорант (известковый материал)	Содержание $\text{CaO}+\text{MgO}$ в переводе на CaCO_3 , %
Молотый известняк	75–100
Доломит	80–100
Сланцевая зола: пылевидная	70–80
колосниковая	60–70
Цементная пыль	60–85
Мел	90–100
Жженая и гашеная известь	135
Известковый туф (ключевая известь)	75–95
Торфотуф	20–70
Известковый сапропель	50–75
Мергель	27–75
Гажа (озерная известь)	80–95
Природная доломитовая мука	95
Белитовая мука	30–90
Известковый отход бумажного производства	90

Приложение 3

Характеристика и свойства минеральных удобрений

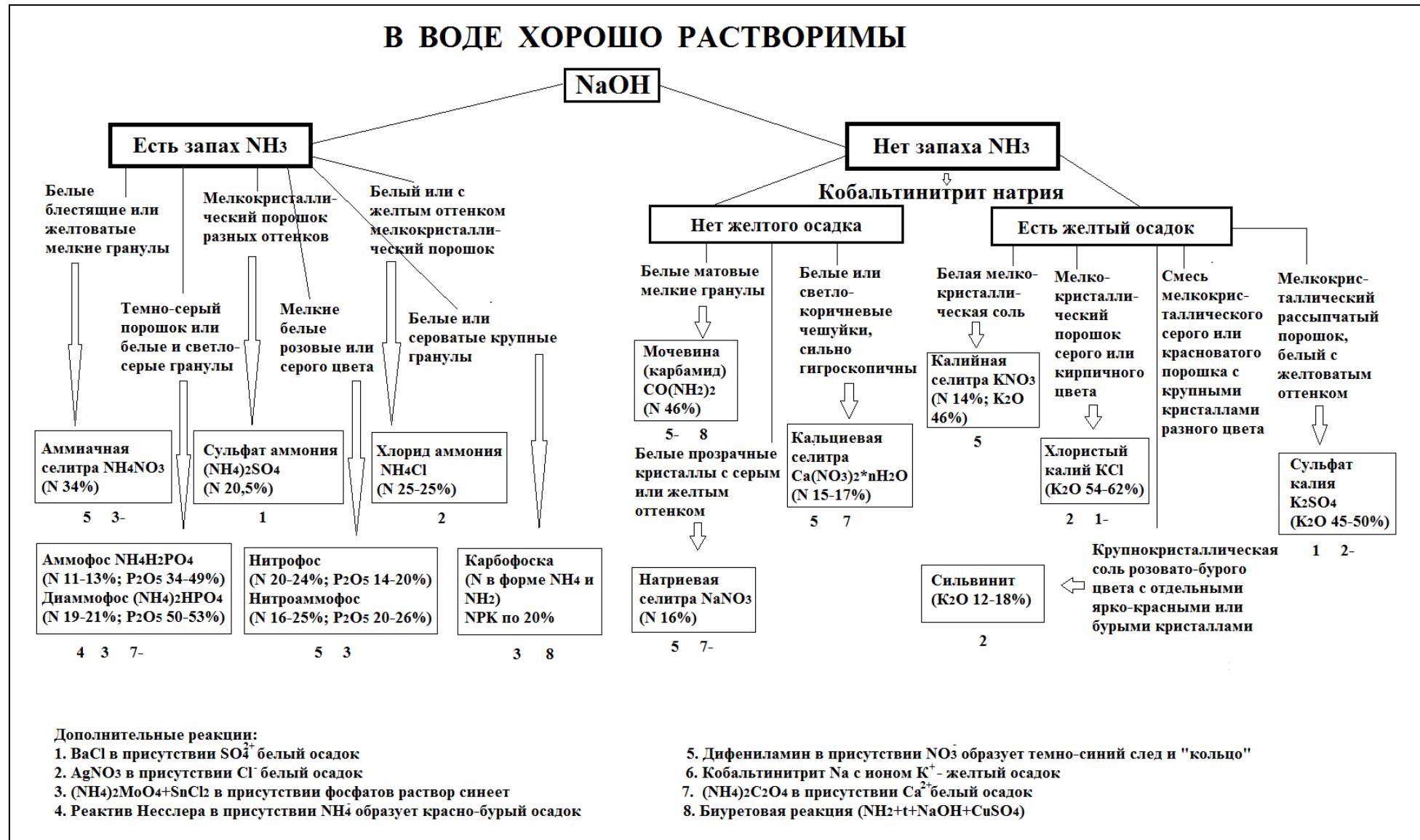
Вид удобрения	Формула	Содержание действующего вещества	Цвет, консистенция и др.	Растворимость в воде	Реакция			Поведение на раскаленном угольке
					с NaOH	с AgNO ₃	с BaCl ₂	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотные удобрения								
Аммонийная селитра	NH ₄ NO ₃	34	Белые кристаллы или гранулы	Хорошая	При нагревании выделяется аммиак	Малозаметная муть	Нет	Плавится и выделяет белый дым с запахом аммиака
Сернокислый аммоний	(NH ₄) ₂ SO ₄	21	Белый или серовато-голубой или зеленоватый мелкокристаллический порошок	То же	То же	То же	Обильный белый осадок	То же
Натриевая селитра	NaNO ₃	15–16	Белые или желто-бурые мелкие кристаллы	То же	Аммиак не выделяется	То же	Слабая муть	Вспыхивает и сгорает оранжевым пламенем
Мочевина	CO(NH ₂) ₂	46	Белый кристаллический порошок или гранулы	То же	То же	Нет	То же	Дает запах аммиака
Цианамид кальция	CaCN ₂	20–21	Темно-серый легкий порошок	Плохая	То же	Желтоватый творожистый осадок	То же	Не горит
Калийные удобрения								
Хлористый калий	KCl	57–60	Белый мелкокристаллический порошок	Хорошая	Нет	Белый творожистый осадок	Слабая муть	Потрескивает, дымит

Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Калийная соль	KC1 +NaCl	30–40	Белый с примесью розовых кристаллов порошок	То же	То же	То же	То же	То же
Сильвинит	nKC1+ mNaCl	12–15	Крупнокристаллический розовато-бурый порошок	То же	То же	То же	То же	То же
Сернокислый калий	K ₂ SO ₄	45–50	Белый тонкий порошок	То же	То же	То же	Обильный белый осадок	То же
Фосфорные удобрения								
Суперфосфат	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	19,5	Светло-серый порошок или гранулы	Хорошая	То же	Слабое пожелтение осадка	Хорошо заметная муть	Плавится слабо с выделением запаха резины
Фосфоритная мука	Ca ₃ (PO ₄) ₂	20	Тонкий землистый порошок	Нерасторовимая	То же	То же	Нет	Нет
Комплексные удобрения								
Аммофос	NH ₄ H ₂ PO ₄	N–12, P–50	Серо-стальные округлые гранулы	Хорошая	При нагревании выделяется аммиак	Осадок желтого цвета	Нет	—
Нитроаммофос	N:P	N–23, P–23	Крупные белые гранулы с желтоватым оттенком	Хорошая	Нет	Осадок желтого цвета	—	—
Нитроаммофоска	N:P:K	11 : 11 : 11	Бело-розовые или розоватые округлые крупные гранулы	Хорошая	Нет	Осадок желтого цвета	—	—
Диаммофоска	N:P:K	9–10 : 25–26 : 25–26	Розоватые или бело-розовые крупные округлые гранулы	Хорошая	Нет	Осадок желтого цвета	—	—

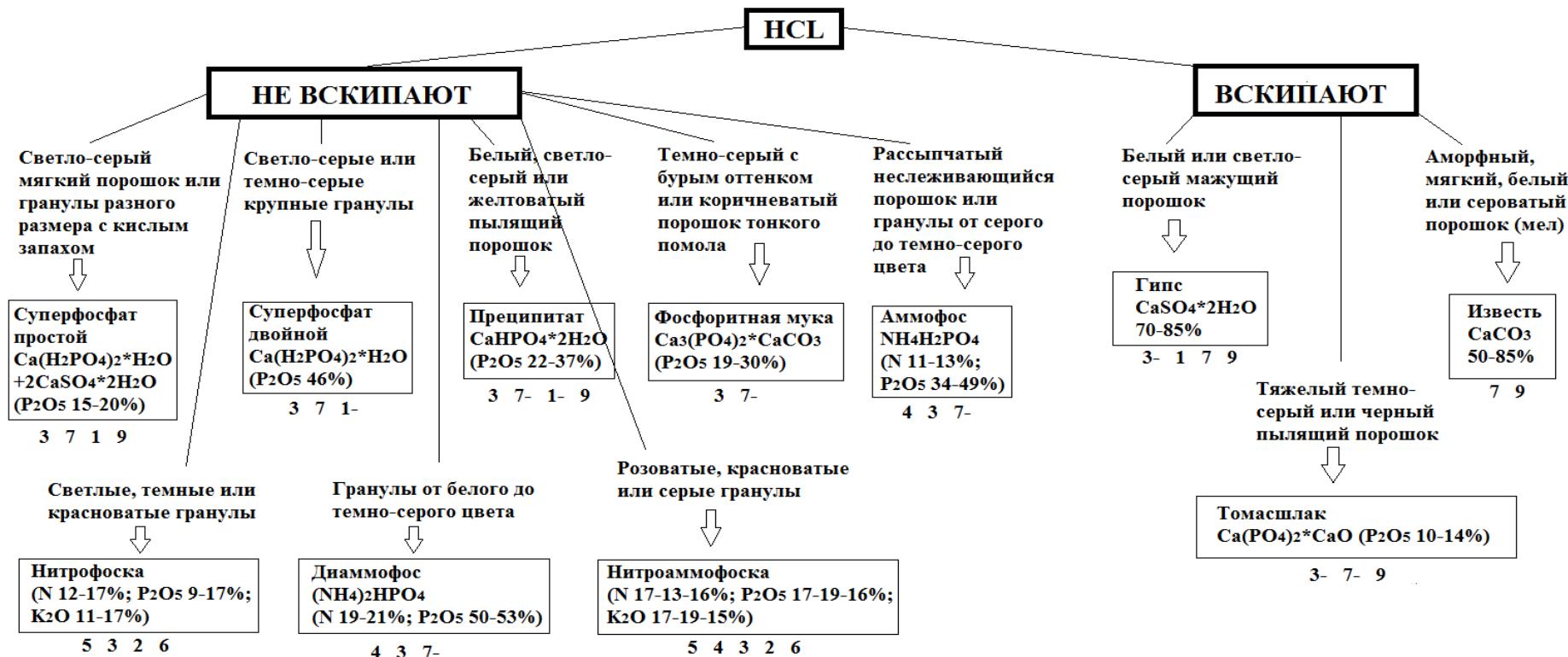
Окончание прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нитрофоска	N:P:K	24 : 24 : 24	Розоватые или бело-розовые крупные округлые гранулы	Хорошая	Нет	—	—	—
Растворин (кристаллин)	N:P:K	8-18:5- 18:18-28	Смесь гранул и порошка белого цвета	Хорошая	—	—	—	—
AVA	P:K, микро-элементы	48-55:14- 25	Стекловидные гранулы синего или зеленого цвета	Слабая	—	—	—	—



В ВОДЕ СЛАБО ИЛИ НЕРАСТВОРИМЫ

129



Дополнительные реакции:

1. BaCl_2 в присутствии SO_4^{2-} белый осадок
2. AgNO_3 в присутствии Cl^- белый осадок
3. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 + \text{SnCl}_2$ в присутствии фосфатов раствор синеет
4. Реактив Несслера в присутствии NH_4^+ образует красно-бурый осадок

5. Дифениламин в присутствии NO_3^- образует темно-синий след и "кольцо"
6. Кобальтнитрит Na с ионом K^+ - желтый осадок
7. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ в присутствии Ca^{2+} белый осадок
8. Биуретовая реакция $(\text{NH}_2)_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{NaOH} + \text{CuSO}_4$

Приложение 6

**Составление агрохимических картограмм
(задание для самостоятельной работы)**

Номер почвенной пробы	Вариант			
	1	2	3	4
	P_2O_5 , мг/100 г		K_2O , мг/100 г	
	По Чирикову		По Кирсанову	
1	4	4	5,5	6
2	4	5	6	7
3	3	8	6	5
4	3	7	5,5	7
5	4	14	6	8
6	6	14	7,5	11
7	6	12	8	13
8	9	13	7,5	11
9	8	15	9	14
10	7	10	9	12
11	6	13	8	13
12	10	14	9,5	12
13	9	15	10	16
14	8	12	11	17
15	7	10	10	16
16	11	11	10	16
17	13	13	11	16
18	14	14	10	18
19	15	15	10	18
20	13	12	9,5	19
21	13	12	9,5	17
22	14	13	10	19
23	12	14	10	17
24	14	16	9,5	18
25	13	18	9	19
26	13	17	9,5	18
27	16	19	12	20,5
28	16	18	14	22
29	19	17	12	23
30	18	16	13	22

Приложение 7

Примерный вынос питательных элементов полевыми культурами (основной продукцией с учетом побочной)

Культура	На 1 ц продукции, кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница яровая	3,2	1,3	2,3
Ячмень	2,9	1,0	2,5
Овес	3,0	1,4	2,0
Рожь озимая	2,9	1,0	2,3
Гречиха	3,2	1,8	4,8
Просо	3,0	1,2	3,0
Лен-долгунец: соломка	1,2	0,7	1,7
Лен-долгунец: семена	8,0	4,0	7,0
Горох	5,2	1,3	4,5
Рапс (семена)	5,6	2,9	5,0
Рапс (зеленая масса)	0,4	0,1	0,6
Люцерна (сено)	2,4	0,5	2,4
Клевер (сено)	2,0	0,5	1,4
Турнепс	0,3	0,1	0,4
Кукуруза (зеленая масса)	0,4	0,1	0,3
Подсолнечник (зеленая масса)	0,4	0,1	0,5
Донник (зеленая масса)	0,7	0,06	1,0

Приложение 8

Примерный вынос питательных элементов овощными и плодовыми культурами (основной продукцией с учетом побочной)

Культура	На 1 ц продукции, кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста белокочанная среднепоздняя	0,40	0,13	0,68
Капуста ранняя	0,46	0,13	0,68
Капуста цветная	0,95	0,33	1,25
Огурец	0,33	0,11	0,38
Томат	0,33	0,12	0,45
Морковь	0,32	0,13	0,45
Свекла	0,45	0,15	0,65
Лук острый на репку	0,45	0,13	0,24
Лук острый на перо	0,53	0,16	0,40
Редька	0,49	0,13	0,61
Редис	0,34	0,09	0,40
Картофель	0,50	0,17	0,72
Земляника	0,45	0,16	0,55
Крыжовник	0,35	0,17	0,45

Приложение 9

**Примерная урожайность сельскохозяйственных культур
и возможный прирост от удобрений на почвах Средней Сибири**

Культура	Предшественник	Диапазон урожайности, ц/га	Интервал прироста урожайности, %
Черноземы			
Пшеница (зерно)	Пар чистый	23–30	12–25
	Пар сидеральный	24–29	12–25
	Пласт бобовых трав	18–26	15–40
	Пропашные	20–28	15–40
Озимая рожь	Пар чистый	18–26	15–30
Ячмень (зерно)	Зерновые	17–26	15–50
Овес (зерно)	Зерновые	15–27	15–40
Горох (зерно)	Зерновые	12–18	15–25
Гречиха	Зерновые	10–17	15–30
Просо	Зерновые	10–19	15–25
Лен-долгунец (соломка)	Зерновые	20–35	12–25
Лен-долгунец (семена)	Зерновые	8–12	15–50
Люцерна (сено)	Зерновые	18–32	15–50
Клевер (сено)	Зерновые	20–30	15–30
Рапс (семена)	Зерновые	15–19	20–40
Кукуруза (зел. масса)	Зерновые	250–350	15–30
Донник (зел. масса)	Зерновые	120–160	15–25
Горох+овес (зел. масса)	Зерновые	150–180	15–25
Серые лесные почвы			
Пшеница (зерно)	Пар чистый	18–25	15–30
	Пар сидеральный	19–27	15–30
	Пласт клевера	16–24	20–40
	Пропашные	17–23	20–40
Ячмень (зерно)	Зерновые	13–18	20–40
Горох (зерно)	Зерновые	12–18	15–40
Овес (зерно)	Зерновые	14–19	20–40
Картофель	Зерновые	110–180	20–40
Клевер	Зерновые	15–25	20–50
Рапс (зел. масса)	Зерновые	130–180	20–30
Подсолнечник (зел. масса)	Зерновые	160–220	20–30
Светло-серые лесные почвы			
Капуста белокачанная	Овощной севооборот	150–200	20–40
Томат		100–150	20–40
Огурец		90–140	30–40
Свекла		200–350	20–40
Морковь		300–400	30–40
Редис		150–250	20–40
Лук на репку		100–180	30–50

Приложение 10

**Коэффициенты использования элементов
питания из удобрений (в год) внесения**

Удобрения	Коэффициент
Азот минеральный	0,5–0,6
Азот органический	0,2–0,3
Фосфор минеральный	0,15
Фосфор органический	0,2–0,3
Калий (минеральный и органический)	0,5–0,6

Приложение 11

План распределения удобрений в севообороте (пример оформления)

134

Приложение 12

Календарный план внесения удобрений в севообороте (пример оформления)

Приложение 13

**Коэффициенты перевода продукции
растениеводства в зерновые единицы**

Продукция	Коэффициент
Пшеница, рожь, ячмень	1,00
Горох, гречиха	1,40
Овес	0,80
Просо	0,90
Лен-долгунец семена	1,63
Лен-долгунец соломка	0,40
Рапс (семена)	1,44
Картофель	0,25
Овощи (кроме капусты)	0,25
Капуста	0,16
Кормовые корнеплоды	0,20
Сено многолетних трав	0,50
Кукуруза, подсолнечник, рапс на зеленую массу	0,17

АГРОХИМИЯ И СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ

Учебное пособие

УЛЬЯНОВА Ольга Алексеевна

Редактор
О.Ю. Кухарева

Электронное издание

Подписано в свет 15.12.2025. Регистрационный номер 103

Редакционно-издательская служба Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru