

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра агрономии и агроэкологии

**С. А. Терещенко**

## **АГРОХИМИЯ**

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»  
в качестве учебно-методического пособия по выполнению лабораторных работ  
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
35.03.04 Агрономия

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2024

УДК 631.895 (07)

Рецензент

доцент кафедры агрономии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет» Т. Н. Троян

**Терещенко, С. А.**

Агрохимия: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр. подгот. 35.03.04 Агрономия / С. А. Терещенко. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 74 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ «Агрохимия» представлены план проведения занятий, учебно-методические материалы по выполнению каждой лабораторной работы, общее содержание изучаемых тем, форма отчета по лабораторному занятию, вопросы для самоконтроля.

Табл. 38, список лит. – 16 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой агрономии и агроэкологии 27.06.2024 г., протокол № 12

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию методической комиссией Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28.06.2024 г., протокол № 06

УДК 631.895 (07)

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2024 г.  
© Терещенко С. А., 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ .....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Техника безопасности, общие правила работы в агрохимической лаборатории и методы анализа .....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Определение обеспеченности растений питательными веществами по внешним признакам .....	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Определение рН водной и солевой вытяжек потенциометрическим методом и расчет потребности почв в известковании .....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Определение гидролитической кислотности почвы .....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Известкование почв. Расчет доз внесения извести в севообороте .....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Распознавание органических удобрений. Расчет накопления органических удобрений, определение норм внесения .....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Распознавание минеральных удобрений по внешним признакам и качественным реакциям .....	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Расчет доз минеральных удобрений в севообороте .....	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. Планирование системы удобрений на предприятии .....	47
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Оценка системы применения удобрений в севообороте (4 часа) .....	58
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. Ионметрический экспресс-метод определения нитратного азота .....	67
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. Определение качества воды .....	71
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами агронома является создание оптимального питания сельскохозяйственным растениям, расширенное воспроизводство плодородия почв. Грамотное проведение известкования, внесение органических и минеральных удобрений способствует решению этих задач и является системой применения удобрений. Агроэкологическая эффективность применения удобрений зависит от культуры земледелия. Система применения удобрений – составная часть систем ведения сельского хозяйства, при ее разработке следует опираться на современные достижения агробиологических и технических наук.

Лабораторный практикум помогает обучающимся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия организовать свою работу в лаборатории, самостоятельно выполнять задания по расчетам системы удобрения, что позволит в более полной мере освоить дисциплину «Агрохимия».

Дисциплина «Агрохимия» (Б1.О.06.10) относится к «Общепрофессиональному модулю» основной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия; читается в пятом семестре.

Цель освоения дисциплины «Агрохимия» – формирование знаний, умений и практических навыков по основам питания сельскохозяйственных культур, являющихся научной базой интенсификации сельскохозяйственного производства, за счет экономически обоснованного, ресурсосберегающего и экологически безопасного применения удобрений.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

*знать:* свойства почв, влияющие на продуктивность растений; основы питания растений; принципы и технологию химической мелиорации почв; виды и формы минеральных и органических удобрений; способы и технологию внесения удобрений;

*уметь:* правильно проводить отбор проб почв, удобрений и растений для агрохимических анализов, проводить анализ почв на основные агрохимические показатели; профессионально использовать полученные знания по агрохимическому анализу растений, почв и удобрений в практике рационального применения удобрений под сельскохозяйственные культуры, пользоваться агрохимическими картограммами, паспортами хозяйств, осуществлять экспресс-диагностику питания сельскохозяйственных культур и распознавание удобрений, различать виды и формы удобрений, производить расчет доз удобрений и химических мелиорантов, разрабатывать систему применения удобрений в различных севооборотах, проводить корректировку доз удобрений и обеспечивать их эффективное и экологически безопасное применение;

*владеть:* навыками получения, обработки и анализа экспериментальных данных об агрохимических показателях почв, навыками разработки подходов для оптимизации почвенного плодородия и повышения эффективности растениеводства путем рационального применения удобрений под сельскохозяйственные культуры.

# 1 СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

При освоении курса «Агрохимия» студент должен научиться работать на лекционных и лабораторных занятиях, а также организовать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

При изучении дисциплины «Агрохимия» предусматривается практикум, включающий в себя лабораторные занятия 44 ч в очной форме обучения и 12 ч – в заочной. В таблице 1 определены темы лабораторных работ, выполняемых в рамках практикума, и объемы занятий.

Таблица 1 – Темы и объемы лабораторных работ по дисциплине «Агрохимия»

№ занятия	Темы лабораторных занятий	Кол-во часов	
		форма обучения	
		очная	заочная
1	Техника безопасности, общие правила работы в агрохимической лаборатории и методы анализа	2	0,5
2	Определение обеспеченности растений питательными веществами по внешним признакам	4	1,5
3	Определение рН водной и солевой вытяжек потенциометрическим методом и расчет потребности почв в известковании	4	2
4	Определение гидролитической кислотности почвы	2	2
5	Известкование почв. Расчет доз внесения извести в севообороте	2	-
6	Распознавание органических удобрений. Расчет накопления органических удобрений, определение норм внесения	6	-
7	Распознавание минеральных удобрений по внешним признакам и качественным реакциям	4	2
8	Расчет доз минеральных удобрений в севообороте	8	2
9	Планирование системы удобрений на предприятии	4	2
10	Оценка системы применения удобрений в севообороте	4	-
11	Ионометрический экспресс-метод определения нитратного азота	2	-
12	Определение качества воды	2	-
Итого по дисциплине		44	12

Лабораторные работы по всем разделам дисциплины выполняются по следующему плану: 1. Домашняя подготовка к работе с использованием лекций, учебников, практикума и иных источников; 2. Выполнение лабораторной работы; 3. Оформление ее результатов в соответствии с заданием; 4. Сдача оформленной работы преподавателю.

В случае пропуска занятия, независимо от причины пропуска, необходимо его отработать по предварительному согласованию с преподавателем.

После завершения подготовки работы, не заглядывая в учебник, студент проверяет свои знания, ответив на вопросы для самоконтроля, приведенные в конце каждой лабораторной работы.

По окончании каждой лабораторной работы оформляется отчет, на основании которого проводится защита работы (цель – оценка уровня освоения учебного материала). Результаты защиты лабораторных работ учитываются при промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

### Техника безопасности, общие правила работы в агрохимической лаборатории и методы анализа

**Цель работы:** Изучить технику безопасности, правила работы в агрохимической лаборатории и методы анализа, применяемые в агрохимии.

**Материалы и оборудование.** Практикум по агрохимии; методические указания по агрохимии; вспомогательная литература; приборы и оборудование агрохимической лаборатории.

**Задание.** Студенты изучают технику безопасности и правила работы в лаборатории, а также порядок отбора проб, анализа образцов и приборы физико-химического анализа. Конспектируют основные понятия под руководством преподавателя и отвечают на контрольные вопросы.

**Методические указания.** Создание необходимых условий работы в учебных агрохимических лабораториях, строгое соблюдение правил техники безопасности и методики проведения анализа являются основной предпосылкой предупреждения несчастных случаев.

В агрохимических лабораториях студенты работают с кислотами, щелочами, горючими и ядовитыми веществами, пользуются аналитическими и электрическими приборами. Поэтому работа в лаборатории требует соблюдения дисциплины и правил техники безопасности.

Без преподавателя или лаборанта и в верхней одежде в лабораторию входить не разрешается. Все личные вещи, не являющиеся необходимыми для выполнения работы, убирать в специально отведенное место. В агрохимической лаборатории студенты должны работать в спецодежде (халатах). В лаборатории запрещается принимать пищу и хранить продукты питания.

Перед началом лабораторной работы студенты должны изучить методику проведения анализа, разобрать теоретические принципы происходящих при анализе процессов, свойства используемых веществ и реактивов, устройство и принцип действия приборов и оборудования, порядок работы с ним.

При подготовке к работе составляют конспект с указанием значения выполняемого анализа, принципа метода, технологии его выполнения (последовательность выполнения отдельных операций) и способа расчета полученных результатов.

За каждым студентом закрепляется рабочее место, на котором находятся необходимые для проведения анализа посуда и реактивы. Приборы и реактивы общего пользования находятся в специально отведенных для этого местах. Нельзя загромождать рабочее место посторонними предметами. Необходимые для проведения текущего анализа материалы, оборудование, реактивы располагают так, чтобы исключить возможность случайно задеть их.

Приступая к аналитической работе, студенты должны ясно представлять

характер, последовательность и особенности протекающих химических реакций, что дает возможность заблаговременно принять меры предосторожности.

Нужно помнить, что большинство агрохимических анализов – количественные, малейшая неаккуратность в работе и нарушении методики приводит к искажению результатов. Работа требует тишины и неторопливых четких действий. Записи нужно вести аккуратно и разборчиво, чтобы можно было легко разобраться при проверке результатов анализа. Результаты измерений записывают с максимальной точностью, которую позволяет снять шкала прибора. Все результаты анализа, расчеты и выводы записывают только в предназначенную для этих целей рабочую тетрадь. Записи на отдельных листах бумаги не разрешаются.

Особое внимание уделяют экономному расходованию материалов, реактивов и электроэнергии. Для работы берут минимальное количество вещества, позволяющее выполнить анализ. Выливать обратно в общие емкости неиспользованные реактивы недопустимо, так как это приводит к порче растворов.

Большинство приборов агрохимической лаборатории питается от электрической цепи 220 В, это напряжение может быть смертельным для человека. Перед включением прибора убедитесь, что он заземлен, электрошнур, вилка и розетка не имеют повреждений.

Влажная кожа обладает большей электропроводимостью, чем сухая, поэтому нельзя включать электроприборы мокрыми руками и проливать жидкость вблизи приборов.

Если чувствуется запах жженой резины или пластмассы, необходимо выключить прибор и предупредить преподавателя или учебно-вспомогательный персонал.

Если возник пожар от электроприборов, необходимо отключить напряжение и только потом тушить пожар песком, сухим огнетушителем, брезентом.

Кроме электрических, в лаборатории используются и газовые приборы. Перед зажиганием горелки необходимо проверить подводящий газ шланг, герметичность крана и только после этого зажечь горелку. Запрещается оставлять включенные приборы без присмотра и ставить сосуды с огнеопасными жидкостями близко от них.

Химическая посуда, используемая для проведения анализов, должна быть чистой, высушенной. На стенках не должно быть следов от испарившихся капель.

При работе с кислотами и щелочами нужно соблюдать ряд правил. Переливание концентрированных кислот и щелочей осуществляют только в вытяжном шкафу. Переливают концентрированные кислоты и щелочи из больших бутылей очень осторожно, стараясь не разбрызгивать. Если кислота или щелочь прольется на пол, ее сразу же засыпают песком, который выносят из помещения. Облитое место промывают раствором соды, если была разлита кислота, или слабым раствором кислоты, если была разлита щелочь.

Ядовитые вещества, едкие и летучие жидкости берут только с помощью цилиндров или пипеток, снабженных специальным заборным устройством (резиновой грушей).

При смешивании жидкостей, взаимодействие которых вызывает сильное разогревание, необходимо соблюдать осторожность, так как раствор может закипеть и разбрызгаться. Например, при разведении концентрированной серной кислоты следует приливать кислоту в воду (а не наоборот) небольшими порциями и постоянно помешивать раствор, избегая его чрезмерного нагревания.

Кислоты нагревают только в вытяжном шкафу при опущенной шторе.

При определении запаха вещества нельзя подносить к носу сосуд с веществом, его следует держать на расстоянии, направляя к носу небольшое количество паров вещества легким движением руки.

Чтобы предохранить руки от порезов, надо осторожно обращаться со стеклянными приборами и посудой. При закрывании колб пробками не следует применять больших усилий.

Запрещается бросать в раковины твердые предметы, бумагу, битое стекло, посуду, железо, цинк и т. п. При выливании в раковину растворов необходимо одновременно открывать водопроводный кран.

Для приготовления водных растворов используется дистиллированная вода, концентрация приготовления растворов не должна превышать относительную ошибку 0,1 %. Для проведения титрования нужно правильно подобрать концентрации растворов и выполнить все операции аккуратно, постоянно следя за изменением окраски раствора.

К работе в химической лаборатории допускаются обучающиеся, прошедшие полный инструктаж, что оформляется соответствующей записью в специальном журнале по технике безопасности и закрепляется подписями студентов и лиц, проводивших инструктаж.

При агрохимических исследованиях анализу подвергаются почва, удобрения, растения, корма, вода и т. д. Поэтому важно отобрать образцы и пробу так, чтобы она характеризовала весь объем материала. Из нее отбирается лабораторная проба, предназначенная для лабораторных исследований. Порядок и методика отбора проб не одинаковы для разных материалов.

Количественное содержание той или иной составной части исследуемого материала рассчитывается на сухое вещество. Поэтому определение гигроскопической влаги проводится параллельно основному анализу.

В агрохимии большинство анализируемых растворов – с малым содержанием определяемого вещества, поэтому широко применяются инструментальные методы физико-химического анализа:

1. Колориметрические методы, основанные на сравнении окраски растворов разных концентраций с помощью фотоэлектроколориметров.

2. Пламенно-фотометрические методы – основаны на измерении интен-



сивности излучения элементов в пламени. С помощью пламенных фотометров измеряется интенсивность излучения элемента, возбужденного пламенем горящего газа.

3. Потенциометрические методы – основаны на измерении электродного потенциала в электрохимических цепях. Для определения активной концентрации исследуемого иона достаточно измерить ЭДС электрохимической цепи, составленной из избирательного электрода и электрода сравнения. Приборы называются потенциометрами.

4. Кондуктометрические методы, основанные на измерении электропроводности раствора солей разной концентрации.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы меры безопасности при работе с электроприборами?
2. Каковы меры безопасности при работе с газом?
3. Каковы меры безопасности при работе с химическими реактивами?
4. Как правильно отобрать лабораторную пробу?
5. Как готовятся рабочее место и химическая посуда к анализу?
6. Как проводится титрование?
7. Какие методы физико-химического анализа вы знаете?
8. Принцип потенциометрического определения концентрации ионов.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.**

### **Определение обеспеченности растений питательными веществами по внешним признакам**

**Цель работы:** Научиться по внешним признакам растений определять их потребность в элементах питания.

**Материалы и оборудование.** Растительные образцы; гербарий; лупы; микроскопы.

**Задание.** Изучить признаки голодания элементами питания, рассмотреть растительные образцы и определить, присутствуют ли признаки голодания; зарисовать и определить мероприятия по устранению голодания.

**Методические указания.** Растения растут, развиваются и дают урожай только при наличии в почвенном растворе всех необходимых элементов питания и оптимальном сочетании других факторов жизни.

Недостаток того или иного элемента приводит к нарушению физиологических процессов, что можно визуальным образом обнаружить по внешним признакам.

Умение распознавать в производственных условиях недостаток элемента питания, особенно на ранней стадии развития растения, позволяет оперативно принять необходимые меры, выправить ситуацию и получить урожай.

При запоздании определения положение исправить очень трудно, а иногда уже невозможно.

**Признаки недостатка азота.** Азот входит в состав аминокислот, из-за его недостатка тормозится синтез белков. Растения замедляют рост, мельчают листья и цветки, отмечается светло-зеленая окраска, пожелтение листьев. Желтеют более старые листья, а при недостатке железа, наоборот, желтеют молодые листья. Затем идет их ускоренное засыхание и опадание, ускоряется созревание урожая, но сильно уменьшается его масса. Плоды осыпаются, мельчают, мякоть становится плотной.

У косточковых пород наблюдается покраснение коры веток.

По растениям-индикаторам можно судить о наличии азота в почве. К таким растениям относятся: картофель, капуста, кукуруза, смородина, щирца загнутая, огурцы, черная смородина, белокочанная и цветная капуста, слива, яблоня.

У таких сельскохозяйственных культур, как пшеница, рожь, ячмень, овес, при остром недостатке азота кущение слабое, листья бледно-зеленые, вновь появляющиеся листья короче предыдущих, стебли тонкие и короткие.

У картофеля – слабый рост листьев и стеблей, светло-зеленая окраска, листья нижних ярусов теряют хлорофилл по краям, желтеют и опадают.

При азотном голодании могут происходить следующие процессы:

- стебли растений становятся одревесневшими;
- листья располагаются под острым углом к стеблю;

- количество цветков уменьшается, и они опадают;
- плоды имеют небольшой размер и несоответствующую окраску;
- весь срок вегетации происходит быстрее обычного.

Азотное голодание культурных растений чаще бывает на подзолистых, песчаных почвах с небольшим содержанием гумуса, чрезмерно кислых, при низкой температуре (особенно в ранневесенний период, когда тормозится микробиологическая деятельность по разложению органики и образованию нитратов).

**Признаки недостатка фосфора.** Фосфор – очень важный элемент в жизни растения. Он отвечает за энергетический обмен, наследственность, и его недостаток невозможно компенсировать позже даже высоким содержанием в почвенном растворе.

Отмечается темно-зеленая с фиолетовым и голубым оттенком окраска измельчавших листьев по сравнению с нормально развитыми растениями; образование на листьях красно-фиолетовых пятен; отмирание тканей по этим пятнам; подвержены поражению нижние листья. Замедляется наступление фаз цветения, уменьшается количество плодов и семян, края листьев закручиваются.

Растения низкорослые. Кущение (или ветвление) слабое, листья уменьшаются в размерах, становятся узкими, приподнятыми.

У деревьев наблюдается ранний листопад, засыхающие листья становятся практически черными.

Для фосфора есть свои растения–индикаторы: турнепс, томаты, брюква, крыжовник, яблоня.

У злаковых замедляется рост, темно-зеленые листья отмирают с верхушки. Недостаток фосфора чаще проявляется на тяжелых почвах по гранулометрическому составу при его отрицательном балансе в течение нескольких лет, а также на карбонатных почвах.

Фосфор необходимо вносить заранее или при посеве в рядки. Это дает очень высокую его окупаемость репродуктивной частью урожая.

**Признаки недостатка калия.** Калий находится в растении в ионной форме и не входит в органическую часть клетки. Физиологические функции разнообразны, способствует обмену веществ, повышает активность ферментов, оводненность коллоидов. При дефиците калия в почве края и кончики нижних листьев буреют, пластинка заворачивается вниз, междоузлия укорачиваются, стебли тонкие и полегают.

Растения–индикаторы на дефицит калия: картофель, свекла, капуста, фасоль, крыжовник, красная смородина, яблоня.

При скудном питании калием в растении происходит его перераспределение: из старых органов он переходит в более молодые, способствуя их развитию. Признаки недостатка обычно бывают заметны в середине вегетации, в период сильного роста растений. При недостатке калия окраска листьев голубова-

то-зеленая, тусклая, часто с бронзовым оттенком. Наблюдается пожелтение, а в дальнейшем побурение и отмирание кончиков и краев листьев (краевой «ожог» листьев). Развивается бурая пятнистость особенно ближе к краям. Края листьев закручиваются, наблюдается морщинистость. Жилки кажутся погруженными в ткань листа. Стебель тонкий, рыхлый, лежащий. Недостаток калия обычно вызывает задержку роста, а также развития бутонов или зачаточных соцветий. Листья вянут и поникают, по краям светло-зеленые пятна, затем коричневые.

У картофеля темно-зеленая окраска листьев, их куполообразность, морщинистость, мелкие коричневые пятнышки придают им бронзоватый оттенок, затем лист бурет от верхушки и краев к середине и засыхает. На верхушке сохраняется пучок темно-зеленых листьев.

Чаще всего калийное голодание растений наблюдается на песчаных почвах, супесчаных и торфяно-болотных. Произвесткованные почвы труднее отдают калий растениям.

При избытке калия листья приобретают более темный оттенок, а новые листья мельчают. Избыток калия приводит к затрудненному усвоению таких элементов, как кальций, магний, цинк, бор и др.

**Недостаток серы.** Сера входит в состав белков, витаминов, необходима для нормального роста и развития растения.

При недостатке серы образуются мелкие, со светлой желтоватой окраской листья на вытянутых стеблях, ухудшаются рост и развитие растений. У плодовых культур листья и черешки становятся деревянистыми. В отличие от азотного голодания, при серном голодании желтеют верхние листья растения и не опадают, хотя имеют бледную окраску. Недостаток серы проявляется в замедлении роста стеблей в толщину.

При избытке серы листья постепенно желтеют с краев и скукоживаются, подворачиваясь внутрь, затем бурют и отмирают. Иногда листья принимают не желтый, а сиреневато-бурый оттенок.

**Признаки недостатка магния.** Магний входит в состав хлорофилла, и при его недостатке затруднен синтез хлорофилла. При недостатке магния наблюдается характерная форма хлороза – у краев листа и между жилками зеленая окраска меняется на желтую, красную, фиолетовую. Между жилками в дальнейшем появляются пятна различного цвета вследствие отмирания тканей. При этом крупные жилки и прилегающие к ним участки листа остаются зелеными. При дальнейшем голодании признаки распространяются с нижних листьев к верхним.

У плодовых растений наблюдается ранний листопад, начинающийся с нижних побегов даже летом, и сильное опадение плодов. У садовой земляники недостаток магния также можно определить по изменению окраски листьев. При очень сильном магниевом голодании листья ягодников преждевременно засыхают. При избытке магния, у растения начинают отмирать корни, оно пе-

рестает усваивать кальций, и наступают такие симптомы, которые характерны при недостатке кальция.

Растения–индикаторы на недостаток магния: картофель, капуста, крыжовник. Дефицит магния чаще отмечается на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах, красноземах. Магниевое голодание может быть ослаблено известкованием почвы и внесением нитратных форм азотных удобрений.

**Признаки недостатка бора.** Бор необходим для синтеза углеводов, усиливает процессы цветения и оплодотворения. При недостатке бора приостанавливается рост побегов, желтеет верхняя часть стебля с последующим потемнением и отмиранием; новые побеги снова отмирают от точки роста, что придает растению кустовую форму; цветки, плоды и семена образуются слабо или вообще не образуются, могут опадать завязи. Недостаток бора лучше обнаружить на льне, турнепсе, брюкве, цветной капусте, томатах, бобовых, плодово-ягодных культурах. У свеклы отмирают зачатки молодых листьев и точка роста (гниль сердечка). У томата наблюдается почернение точек роста.

Обычно недостаток бора бывает на торфяно-болотных, карбонатных или переизвесткованных подзолистых и дерново-подзолистых почвах.

Проявляется в посветлении верхушек и верхних молодых листьев, отмирании точек роста, снижении урожая семян.

**Недостаток молибдена.** Молибденовое голодание вызывает ослабление зеленой окраски листьев вследствие нарушения азотного обмена. У бобовых меняется окраска всего листа, у других культур появляются светлые пятна. При сильном недостатке молибдена хлорозные ткани отмирают, листья искривляются.

**Признаки недостатка меди.** Медь играет специфическую роль в жизни растений: регулирует фотосинтез и концентрацию образующихся в них ингибиторов роста, водный обмен и перераспределение углеводов, входит в состав ферментов, повышает устойчивость к полеганию.

Недостаток меди вызывает у растений задержку роста и цветения, хлороз листьев, потерю упругости клеток (тургора) и увядание. Известкование почв увеличивает поглощение меди почвенными частицами и снижает ее доступность для растений. Избыток меди также чрезвычайно вреден. Проявляется он в том, что растение тормозится в развитии, на листьях появляются бурые пятна, и они отмирают. Начинается процесс с нижних более старых листьев.

Листья выглядят вялыми, закручиваются внутрь в трубочку, белеют на кончиках. Молодые листья мельчают, приобретают сине-зеленый оттенок. Побеги становятся слабыми, цветы сбрасываются.

При недостатке меди злаковые культуры приобретают бледно-зеленую окраску, усиленно кустятся, белеют кончики листьев, меньше образуется колосьев и метелок, изгибаются колосья, скручиваются листья, наблюдается пустозёрность, зерно щуплое.

Признаки в большей степени выражены на молодых частях растений.

Чаще всего недостаточность меди наблюдается на торфяно-болотных почвах, песчаных подзолистых и дерново-подзолистых, реже на кислых песчаных почвах. В жаркое время года медное голодание усиливается.

**Признаки недостатка цинка.** Цинк необходим всем растениям, особенно плодовым. Как и другие микроэлементы, он играет важную роль в белковом, углеводном и фосфорном обмене, в биосинтезе витаминов и ростовых веществ (ауксинов).

При дефиците цинка в растениях задерживается образование сахарозы, крахмала и ауксинов, нарушается образование белков, вследствие чего в них накапливаются небелковые соединения азота и нарушается фотосинтез. Это ведет к подавлению процесса деления клеток и влечет за собой морфологические изменения листьев (деформацию и уменьшение листовой пластинки) и стеблей (задержку роста междоузлий), т. е. к торможению роста растений. Симптомы недостатка цинка развиваются на всем растении или локализованы на более старых нижних листьях.

Вначале на листьях нижних и средних ярусов, а потом и на всех листьях растения, появляются разбросанные пятна серо-бурого и бронзового цвета. Ткань таких участков как бы проваливается и затем отмирает. Молодые листья ненормально мелки и покрыты желтыми крапинками или же равномерно хлоротичны, принимают слегка вертикальное положение, края листьев могут закручиваться кверху. У плодовых деревьев на концах ветвей образуются укороченные побеги с мелкими листьями, расположенными в виде розетки (так называемая «розеточность»), а при сильном дефиците появляется «суховершинность». Проявляется на карбонатных и других почвах, при внесении фосфорных удобрений.

**Признаки недостатка железа.** Происходит потеря зеленой окраски молодых листьев.

Хлороз листьев развивается при недостатке разных элементов, и визуально установить, недостатком какого из них он вызван, бывает затруднительно. Необходимо учитывать также почвенные условия, проводить подкормку раствором удобрения, содержащего предполагаемый недостающий элемент. Обычно через несколько дней после подкормки признаки голодания исчезают.

Чаще всего недостаток железа растения испытывают на карбонатных почвах в засушливой зоне.

**Признаки недостатка молибдена.** Молибден необходим растениям в еще меньших количествах, чем бор, марганец, цинк и медь. Он преимущественно накапливается в молодых растущих органах, входит в состав ферментов, регулирующих азотный обмен в растениях, участвует в синтезе нуклеиновых кислот (РНК и ДНК) и витаминов и регулирует фотосинтез и дыхание.

При слабом недостатке появляется желтая или бледно-коричневая окрас-

ка, или некротические пятна. При сильном недостатке хлорозная ткань отмирает. У крестоцветных окраска зеленая или зелено-синяя, листовая пластинка искривляется и редуцируется. Точка роста и сердечко отмирают. Цветение и образование семян замедляются. Уменьшаются величина, количество и изменяется цвет клубеньковых бактерий.

При недостатке молибдена в растениях нарушаются многие процессы жизнедеятельности, в тканях растений накапливаются нитраты, что особенно опасно при избыточном применении азотных удобрений (включая навоз): чем выше дозы применяемых азотных удобрений, тем больше потребность растений в молибдене. Внешние признаки дефицита молибдена для растений сходны с азотным голоданием: тормозится рост растений, листья приобретают бледно-зеленую окраску, деформируются и преждевременно отмирают. Листья светлеют, желтеют, края закручиваются вверх. Появляются желтые крапинки между жилками листа, сами жилки не затрагиваются.

Вновь развивающиеся листья вначале зеленые, но по мере роста становятся крапчатыми. У растений возникает хлороз между жилками (желтоватая и палевая окраска). Жилки остаются зелеными, и лист приобретает узорчатый пестрый вид. Затем хлорозная ткань отмирает с появлением пятен. У листьев с сетчатым жилкованием они округлые, у листьев с параллельным жилкованием – удлинённые. Участки хлоротичной ткани впоследствии вздуваются, края листьев закручиваются внутрь; вдоль краев и на верхушках листьев развивается некроз. Большие дозы молибдена весьма токсичны для растений, поэтому содержание даже 1 мг молибдена в 1 кг сухой массы продукции вредно для человека и животных.

**Признаки недостатка марганца.** Марганец содержится в гумусовом слое и илистой фракции почвы. В кислых почвах он присутствует в виде малоподвижной двухвалентной плохо доступной для растений форме. Подвижность марганца увеличивается при внесении аммиачных удобрений.

Недостаток марганца проявляется в виде точечных хлорозов, переходящих в некрозы на молодых листьях, при избытке – на старых. Марганцевое голодание часто отмечается на овсе, пшенице, картофеле, кукурузе, столовых и кормовых корнеплодах, капусте, бобовых, подсолнечнике, плодово-ягодных, цитрусовых и овощных культурах. Так, у овса отмечается серая пятнистость листьев, у сахарной свеклы – пятнистая желтуха.

Избыточное содержание марганца устраняют известкованием или высокими дозами железа.

Признаки недостатка марганца обнаруживаются чаще у свеклы, картофеля, капусты, плодовых культур на карбонатных и торфяных почвах.

**Недостаток кальция.** Недостаток кальция увеличивает синтез фенольных соединений. Повышается проницаемость клеточной мембраны, что приводит к оттоку ионов из клетки и дальнейшему нарушению структуры ядра,

уменьшению стабильности хромосом. Особенно кальций важен для меристемной ткани и ее дифференцировки, направленного действия фитогормонов. Нарушение кальциевого питания растений часто является причиной непаразитарических болезней.

Кальций накапливается в вегетативных органах и в ограниченном количестве в плодах. Его содержание в плодах и запасающих органах уменьшается при сниженной транспирации, однако высокая транспирация не гарантирует достаточное снабжение растений кальцием и водой.

Недостаток кальция увеличивает накопление нитратов в тканях растения. Прежде всего, страдают апикальная меристема, побег и корень, цветки и плоды. Старые листья приобретают темно-зеленую окраску, затем желтеют и отмирают. Корни остаются короткими, ослизняются, приобретают коричневый оттенок и отмирают. У верхних, молодых листьев сначала белеет кончик, а при больших нарушениях поражаются края. При пониженной транспирации снижение поступления кальция приводит к надламыванию побега внешне нормальных и интенсивно развивающихся растений.

У плодовых растений при увеличении соотношения аммонийного азота и кальция происходит отмирание цветов, повышенное содержание калия усиливает этот процесс. При содержании кальция в листьях менее 3,0 %, а в плодах менее 0,15 % начинается подвядание цветков.

Достаточное содержание кальция в листьях и плодах не является гарантией оптимальности условий дальнейшего роста растений. Кальций должен находиться в виде свободных ионов в почвенном растворе. Потребность в нем возрастает при увеличении освещенности. Кальциевое голодание встречается на кислых почвах.

Избыток кальция встречается редко, как результат нарушения питательного режима при известковании. Одновременно может отмечаться недостаток калия, бора, марганца, цинка, меди, иногда магния и избыток – хлоридов и сульфатов. В таких случаях для сохранения плановых урожаев увеличивают дозы всех элементов, предусматривают применение физиологически кислых удобрений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы внешние признаки азотного голодания растений и мероприятия по его устранению?
2. Почему фосфор необходимо вносить заранее?
3. Каковы признаки калийного голодания и как помочь растениям?
4. Каковы признаки магниевое голодания?
5. Как изменяются растения при недостатке бора и как устранить его дефицит?
6. Как у растений проявляется медное голодание?



### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

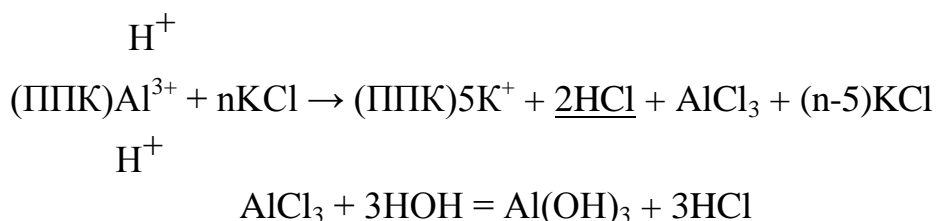
#### Определение рН водной и солевой вытяжек потенциометрическим методом и расчет потребности почв в известковании

**Цель работы.** Научиться определять рН водной и солевой вытяжек и рассчитывать потребность известкования почв.

**Материалы и оборудование.** Почвенные образцы; рН-метр; весы; набор сит; фарфоровые ступы; стеклянные палочки; химические колбы на 100 и 150 мл; химические стаканы на 100-150 мл; стеклянные воронки; фильтровальная бумага; мерный цилиндр на 100-150 мл; дистиллированная вода; 1,0 Н раствор КСl (рН 5,5-6,0), насыщенный раствор КСl, электроды.

#### Сущность метода.

Катионы водорода и алюминия вытесняют из почвенного поглощающего комплекса (ППК) с помощью гидролитически нейтральной соли (1 н раствор КСl) при соотношении почва: раствор = 1: 2,5. При определении рН<sub>КСl</sub> в пробах органических горизонтов почв вытяжку готовят при соотношении почва: раствор = 1: 25.



Образовавшаяся соляная кислота характеризует показания обменной кислотности, которую определяют потенциометрически, с использованием стеклянного и хлорсеребряного (сравнения) электродов.

**Задание.** Определить значение обменной кислотности почвенного образца и дать заключение о необходимости проведения известкования. Определить перечень культур, которые можно выращивать на данной почве. Рассчитать дозу мелиоранта, необходимого для нейтрализации почвенной кислотности.

#### Ход выполнения работы.

Студент отвешивает 20-30 г воздушно-сухой почвы, помещает её в химический стакан и добавляет воду или 1,0 н КСl (при этом соотношение почва: жидкость равно 1:2,5). Содержимое перемешивается 1-2 мин. и фильтруется.

Готовит прибор и электроды к работе. Прибор прогревается 25 мин., электрод заливается насыщенным раствором КСl, ополаскивается дистиллированной водой

Проводит калибровку прибора по буферным растворам, поочередно меняя буферные растворы и ополаскивая электроды водой. Измеряет рН водной и солевой вытяжек почв, записывает результаты в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты определений и расчетов

№ образца	Почва	рН в		Доза CaCO <sub>3</sub> (а), т/га	Содержание CaCO <sub>3</sub> в удобрении (в), %	Влажность удобрения (с), %	Доза известкового удобрения (х), т/га
		H <sub>2</sub> O	KCl				

### Методические указания.

**Обменная кислотность** – это свойство почвы, определяемое количеством ионов водорода и алюминия, находящихся в поглощенном состоянии и способных вытесняться в раствор при действии на почву какой-либо нейтральной соли (1 М KCl). В почвах, богатых органическим веществом, обменная кислотность обусловлена, главным образом, ионами водорода, а бедные гумусом минеральные почвы содержат преимущественно обменный алюминий.

Обменная кислотность – это скрытая кислотность, при действии на почву нейтральных солей она переходит в актуальную и оказывает отрицательное влияние на развитие растений. Особенно вредно действует переходящий в раствор алюминий, ингибирующее действие которого на растения больше, чем от кислотности в целом.

Реакция почвенного раствора (рН) имеет очень большое значение для растений и живущих в почве микроорганизмов. Кислые и щелочные среды являются для них губительными. Нейтральная, слабокислая и слабощелочная реакции благоприятны. Нейтральной реакцией с небольшими отклонениями в кислую или щелочную сторону обладают черноземы. Подзолистые и болотные почвы имеют кислую реакцию, засоленные почвы, как правило, отличаются щелочной реакцией. Кислая реакция обуславливается концентрацией водородных (H<sup>+</sup>) ионов, щелочная концентрация – гидроксильных (OH<sup>-</sup>) ионов.

Отрицательный логарифм концентрации водородных ионов условно заменяют символом рН. На основании результатов агрохимического обследования составляются мероприятия по известкованию кислых почв и доведению кислотности почв до оптимальных значений. По величине рН<sub>KCl</sub> определяют степень кислотности (таблица 2) и рассчитывают необходимую дозу извести для создания благоприятной кислотности почвы заданной сельскохозяйственной культуры или севооборота (таблица 3).

Таблица 2 – Степень кислотности и нуждаемости в известковании

Параметры рН <sub>KCl</sub>	Цвет на картограмме	Степень кислотности	Нуждаемость в известковании
Меньше 4,5	Красный	Очень сильнокислые	Сильно нуждаются
4,6-5,0	Розовый	Сильнокислые	Сильно нуждаются
5,1-5,5	Оранжевый	Среднекислые	Средне нуждаются
5,6-6,0	Желтый	Слабокислые	Слабо нуждаются
6,1-6,5	Светло-зеленый	Очень слабокислые	Слабо нуждаются
6,6-7,0	Зеленый	Нейтральные	Не нуждаются

Таблица 3 – Оптимальные значения pH для сельскохозяйственных культур

Культура	pH	Культура	pH
Озимая рожь	5,0 - 7,5	Люцерна	7,2 - 8,0
Озимая пшеница	6,3 - 7,6	Бобы, клевер	6,0 - 7,0
Пшеница яровая	6,0-7,3	Люпин	4,6 - 6,0
Озимая тритикале	5,5-7,0	Горох	6,5-7,0
Овес	5,0 - 7,5	Соя	6,5-7,5
Ячмень озимый	6,0 - 7,5	Фасоль	6,4-7,1
Ячмень яровой	6,8-7,5	Вика	6,0-7,0
Гречиха	4,7-7,5	Картофель	5,0 - 5,5
Просо	5,5-7,5	Морковь	5,5 - 7,0
Кукуруза	6,0-7,5	Капуста кочанная	6,0-7,0
Рапс озимый	5,6-6,5	Капуста цветная	5,5-6,6
Рапс яровой	6,1-6,5	Свекла столовая	5,2-6,8
Лен	5,5 - 6,0	Свекла кормовая	6,0-7,0
Многолетние злаковые травы	5,6-5,8	Огурец	6,0 - 7,9
Многолетние бобовые травы	6,5-7,0	Брюква	4,8-5,5
Томаты	5,5-6,7	Салат, сельдерей	6,0-7,0
Лук	6,4-7,5	Турнепс	6,0-6,9

Дозы известковых удобрений можно рассчитать по обменной кислотности и гранулометрическому составу почв (таблица 4).

Таблица 4 – Ориентировочные дозы извести (CaCO<sub>3</sub>) в зависимости от обменной кислотности и гранулометрического состава почвы, т/га

Гранулометрический состав почвы	Показатель обменной кислотности (pH <sub>KCl</sub> )					
	<4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4-5,5
Супесчаная	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0
Суглинки легкие	6,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
Суглинки средние и тяжелые	8,0	6,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Торфяные почвы	10,	8,0	6,0	5,0	-	-

**Например**, в почве поля величина обменной кислотности – pH<sub>сол.</sub> = 4,6 (вертикаль), гранулометрический состав – легкий суглинок (горизонталь), на пересечении этих строк имеем дозу внесения извести (CaCO<sub>3</sub>) – 3,5 т/га.

Следует пересчитать гектарную дозу извести CaCO<sub>3</sub> в фактическую указанного преподавателем известкового удобрения по формуле (1):

$$D = \frac{a \cdot (100 + c)}{b}, \quad (1)$$

где D – доза известкового удобрения, т/га; a – доза CaCO<sub>3</sub>, т/га; b – содержание действующего вещества в удобрении, %; c – влажность известкового материала, %.

Полученные результаты заносят в таблицу 1.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Как влияет кислотность на свойства почвы и рост растений?
2. Какова природа кислотности почвы?
3. Как определяется доза известкового удобрения и от каких факторов она зависит?
4. В чем разница актуальной и обменной кислотности?

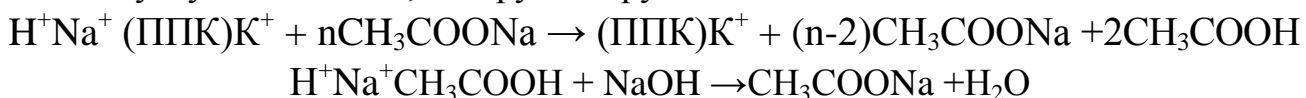
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

### Определение гидролитической кислотности почвы

**Цель работы:** Научиться определять гидролитическую кислотность и рассчитывать по ней дозы извести.

**Материалы и оборудование.** Почвенные образцы; весы; сито с отверстиями диаметром 2 мм; пипетка на 50 мл; конические колбы на 150-200 мл и на 250-300 мл; бюретка; мерный цилиндр на 100 мл; стеклянные воронки; фильтровальная бумага; стеклянные палочки; встряхиватель или электромеханическая мешалка; 1н  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , фенолфталеин 1 %-ный спиртовой раствор; 0,1 н  $\text{NaOH}$ .

**Сущность метода.** Ацетат натрия ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) вытесняет из почвенно-поглощающего комплекса ионы водорода, обуславливающие обменную и гидролитическую кислотность. Водород обменивается на натрий, и образуется свободная уксусная кислота, которую титруют щелочью.



По количеству щелочи, пошедшей на титрование, судят о величине гидролитической кислотности почвы.

**Задание.** Определить гидролитическую кислотность в выбранной почве, дать заключение о нуждаемости её в известковании. Определить возможность использования фосфоритной муки. Рассчитать дозу мелиоранта, необходимого для нейтрализации почвенной кислотности.

**Ход выполнения работы.** Студент отвешивает 40 г почвы, измельченной и просеянной через сито с диаметром отверстий 2 мм, помещает в колбу 250-300 мл и приливает 100 мл 1н  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Содержимое колбы перемешивается в течение 1 ч. Фильтруется, набирается пипеткой 50 мл и переносится в коническую колбу на 150-200 мл, добавляют 2-3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н раствором щелочи до не исчезающей в течение 1 мин. слабо-розовой окраски. Количество пошедшей на титрование щелочи записывается, и далее рассчитывают значение гидролитической кислотности

#### Методические указания.

Различают формы почвенной кислотности: актуальную и потенциальную, которая, в свою очередь, подразделяется на обменную и гидролитическую. Гидролитическая кислотность – кислотность раствора, создающаяся при взаимодействии почвы с раствором гидролитически щелочной соли (т. е. соли сильного основания и слабой кислоты).

Гидролитическая кислотность больше обменной, так как при обработке почвы гидролитически щелочной солью происходит вытеснение практически всех обменных  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$ , а не только наиболее активной их части. Таким образом, гидролитическая кислотность максимальная и представляет собой сумму всех форм кислотности.

Повышенная кислотность вызывает в почве ряд отрицательных явлений, прямо или косвенно влияющих на плодородие почв и жизнь растений. При кислой реакции минералы разрушаются, и в условиях промывного типа водного режима развивается подзолообразовательный процесс, который приводит к образованию почв с низким плодородием. Происходит разрушение структуры, что ухудшает водно-воздушный и питательный режимы.

Эта форма кислотности обусловлена ионами водорода, более прочно связанными в почвенном поглощающем комплексе и способными обмениваться на основания только в нейтральной или щелочной среде. Эти ионы водорода труднее замещаются на основания и вытесняются в раствор только гидролитически щелочными солями. В качестве гидролитически щелочной соли применяется уксуснокислый натрий, который в водном растворе образует слабо диссоциирующую уксусную кислоту и сильное основание – рН раствора 8,2. Гидролитически щелочная соль взаимодействует как с ППК, так и с почвенным раствором, таким образом, в данном случае определяется общая кислотность почвы, которая включает актуальную и потенциальную кислотность, как обменную, так и собственно гидролитическую.

Гидролитическую кислотность выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Установлено, что таким путём вытесняется не весь водород, поэтому при расчёте вводят коэффициент – поправку на полноту вытеснения водорода.

Значение гидролитической кислотности вычисляется по формуле (1):

$$H_{г} = \frac{a \cdot T \cdot 1,75 \cdot 100}{10 \cdot n}, \quad (1)$$

где  $H_{г}$  – гидролитическая кислотность, мг.эquiv на 100 г почвы;  $a$  – количество 0,1н щелочи, израсходованной на титрование, мл;  $T$  – поправка к титру щелочи; 1,75 – коэффициент, поправка на неполноту вытеснения ионов водорода уксуснокислым натрием; 100 – множитель для пересчета на 100 г; 10 – для перехода от мл 0,1н раствора щелочи к мг-эquiv. (1 мл 0,1н щелочи отвечает 0,1 мг-эquiv  $H^+$  ионов);  $n$  – навеска почвы, соответствующая объему фильтрата, пошедшего на анализ, г.

По гидролитической кислотности можно определить дозу извести, необходимую для нейтрализации всей почвенной кислотности.

Расчет можно сделать по формуле (2):

$$D = \frac{H_{г} \cdot 10 \cdot B \cdot 50}{1000 \cdot 1000 \cdot 1000} = H_{г} \cdot 1,5, \quad (2)$$

где  $D$  – доза  $CaCO_3$ , т/га;  $H_{г}$  – гидролитическая кислотность, мг экв. на 100 г почвы;  $B$  – масса пахотного горизонта на 1 га, кг (3 000 000 кг); 50 – количество мг  $CaCO_3$ , соответствующее 1 мг экв.  $CaCO_3$ ; 10, 1000 – коэффициент для перехода.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как влияет повышенная кислотность на свойства почвы и растения?
2. Каковы сроки и способы внесения известковых удобрений?
3. Чем отличаются актуальная, обменная и гидролитическая кислотности почвы?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

### Известкование почв. Расчет доз внесения извести в севообороте

**Цель работы:** Научиться рассчитывать дозы извести, необходимые для нейтрализации избыточной кислотности, определять, под какие сельскохозяйственные культуры необходимо вносить химические мелиоранты, а также рассчитывать необходимое количество известковых удобрений в физическом весе.

**Задание.** На основании полученных экспериментальных данных лабораторных работ 3 и 4 рассчитать дозы извести и определить культуры севооборота (выдается преподавателем), под которые необходимо провести известкование. Определить вид известкового удобрения и рассчитать, сколько его понадобится в физическом весе.

#### Методические указания.

Повышенная актуальная кислотность вредна для растений и полезных микроорганизмов. Большинство растений развивается в условиях слабокислой и нейтральной реакции. Повышенная кислотность не только снижает рост и развитие растений, но и способствует развитию болезней. На кислых почвах снижается усвоение растениями соединений азота, фосфора, кальция, магния и повышается усвоение марганца и алюминия.

Для снижения кислотности почвы рекомендуют внесение известковых удобрений. Известкование понижает кислотность почвы и улучшает ее физико-химические свойства. Необходимость в известковании зависит от возделываемых культур.

Опыты и производственная практика показывают высокую эффективность известкования кислых почв. Прибавка от известкования в среднем за один год составляет 0,2-0,6 т/га зерна, а сроки положительного действия отмечаются до 10-15 лет.

Промывной водный режим, кислые почвообразующие породы, внесение минеральных удобрений и подзолистый процесс почвообработки постоянно подкисляют почву. Известь – длительно действующее удобрение, и при любой погрешности, допущенной при ее применении, не окажет ожидаемых результатов на плодородие почв и увеличение урожаев сельскохозяйственных культур.

Потребность в известковании устанавливается только на основе агрохимических анализов почвы, приводимых на картограммах их кислотности или в паспортах полей. Дозы извести зависят от чувствительности основных культур севооборота к кислотности, гранулометрического состава почвы, ее кислотности, содержания гумуса, глубины пахотного горизонта и качества известковых удобрений. Значение известкования особенно возрастает при систематическом применении повышенных доз физиологически кислых минеральных удобрений при углублении пахотного слоя. Для повышения эффективности известкования



необходимо учитывать отношение культур севооборота к известкованию, сочетать известкование почв с применением органических и минеральных удобрений.

На основании результатов агрохимического обследования составляются мероприятия по известкованию кислых почв и доведения кислотности почв до оптимальных значений. Агроном отвечает за качественное их выполнение.

Дозы известковых удобрений можно рассчитать по обменной кислотности (Лабораторная работа 3) или по гидролитической кислотности (Лабораторная работа 4).

В первую очередь известкуются сильнокислые почвы ( $pH_{\text{сол.}} < 4,5$ ), затем средне- ( $pH_{\text{сол.}} 4,6-5,0$ ) и слабокислые ( $pH_{\text{сол.}} 5,1-5,5$ ) – один раз в 4-5 лет.

Эффективность внесения известковых удобрений напрямую зависит от их качества (влажность, отсутствие крупных комков, сохранность содержания действующего вещества в период хранения), равномерности внесения по поверхности почвы, тщательности перемешивания с пахотным горизонтом при обработке почвы.

Поэтому известковые удобрения при доставке в хозяйство должны быть отобраны и проверены на качество, т. е. они должны соответствовать техническим условиям (ТУ) или ГОСТу – иметь заданный химический состав, тонину помола и сыпучесть. Не должны содержать камней и других посторонних предметов.

Известковые удобрения содержат разное количество  $\text{CaCO}_3$ , имеют неодинаковое количество частиц более 1 мм, различную влажность. Все это необходимо учитывать при переводе дозы  $\text{CaCO}_3$  в физическую массу известкового удобрения (формула (1)).

$$\text{Дф. м.} = D * \left(\frac{100-B}{100}\right) * \left(\frac{100-K}{100}\right) * \frac{Dв}{100}, \quad (1)$$

где Дф.м. – доза известкового удобрения, т/га физической массы; D – доза известности, рассчитанная по кислотности почвы, т/га; B – влажность удобрения, %; K – количество частиц более 1 мм, %; Dв – действующее вещество известкового удобрения, %.

Установленную дозу известкового удобрения необходимо скорректировать с учетом возделываемых культур или севооборота и гранулометрического состава почвы. Например, для льняных и картофельных севооборотов на легких почвах доза снижается, а в овощных севооборотах и на лугах увеличивается в 1,3-2,0 раза.

Известкование можно планировать и проводить на свободных от вегетирующих культур полей в течение всего года. Зимой это возможно на полях со снежным покровом до 20 см и уклоном до  $3^\circ$  при отсутствии ледяной корки и затопляемых весенним паводком угодий. Желательно боронование снежного

покрова после разбрасывания известковых удобрений. Пашня, подлежащая известкованию, должна быть выровненной.

После проведения известкования осуществляется заделка извести под вспашку, на глубину пахотного слоя почвы. На сильнокислых почвах половина нормы извести вносится под вспашку, а половина – под дискование – для эффективной и более быстрой нейтрализации избыточной кислотности.

На произвесткованных полях следует увеличить нормы калийных удобрений на 15-20 %, а также применять борные, медные и цинковые удобрения, поскольку кальций снижает поступления этих элементов питания по причине антагонизма.

В плане известкования должны быть следующие данные: район, хозяйство, номер участка (контура), площадь участка, кислотность (рН), доза извести на 1 гектар, общее количество известкового материала.

Существуют следующие виды контроля известкования кислых почв:

– **визуальный** – осмотр поля в натуре. При проходе произвесткованной площади по диагонали ее тщательно осматривают: не допускаются разрывы в смежных проходах агрегатов, пропуски и кучки извести;

– **документальный** – соответствие номера поля из проектно-сметной документации (ПСД) и номера фактически произвесткованного поля (сопоставить по карте планируемое поле в ПСД и положение фактически произвесткованного поля), соответствие тоннажа фактически вывезенного и внесенного известкового удобрения расчетным данным для этого поля в ПСД) – проверка товарно-транспортных накладных;

– **инструментальный**. Равномерность внесения известкового удобрения определяется в основном качеством работы разбрасывателя. Машины, разбрасывающие известковые материалы, могут вносить известь неравномерно как по ширине захвата, так и по дозе внесения. Поэтому необходимо контролировать качество работы машины по этим двум параметрам.

Внесение извести центробежными машинами проводится челночным способом движения агрегата с рабочей шириной захвата фиксированным положением дозирующих устройств и скорости агрегата. В период известкования на поле проводится выборочная оценка неравномерности внесения мелиоранта по ширине захвата (рулеткой) и по дозе внесения. Разрывы в смежных проходах не допускаются, а перекрытия в смежных проходах не должно превышать 5 % от рабочей ширины захвата. *Неравномерность внесения известковых удобрений по ширине захвата машинами (МВУ-5, МВУ-8 и др.) более 25 % не допускается.* Если неравномерность превышает 25 %, такие работы следует браковать;

- **агрохимический контроль** – проводится через 6 мес. после известкования, заключается в отборе образцов почвы и оценке сдвига – на основании результатов агрохимических анализов и нормативных данных (таблица 1).

Таблица 1 – Нормативы сдвига рН от 1 т CaCO<sub>3</sub>

Тип почв и гранулометрический состав	Кислотность рН <sub>KCl</sub>	Изменение рН <sub>KCl</sub> от 1 т CaCO <sub>3</sub>	
		экспериментальное	с учетом производственных условий
Дерново-подзолистые, дерновые глеевые:  - тяжелосуглинистые и глини- стые	Менее 4,5	0,20	0,18
	4,6-5,0	0,15	0,12
	5,1-5,5	0,11	0,08
	5,6-6,0	0,07	0,05
- легко- и среднесуглинистые	Менее 4,5	0,22	0,20
	4,6-5,0	0,18	0,15
	5,1-5,5	0,13	0,10
	5,6-6,0	0,09	0,07
- супесчаные	Менее 4,5	0,18	0,13
	3,6-5,0	0,14	0,10
	5,1-5,5	0,11	0,08
	5,6-6,0	0,09	0,06
- песчаные	Менее 4,5	0,20	0,14
	3,6-5,0	0,15	0,11
	5,1-5,5	0,12	0,08
Торфяно-болотные	Менее 4,5	0,06	0,05
	4,6-5,0	0,05	0,04

Пример расчета фактического сдвига рН<sub>сол.</sub> от внесения одной тонны известки: рН<sub>сол.</sub> до известкования 4,6; рН<sub>сол.</sub> – после известкования 5,4; ΔрН<sub>сол.</sub> = 5,4 - 4,6 = 0,8. Было внесено доломитовой муки 6,5 т. Составляем пропорцию:

$$\begin{aligned} \text{внесено } 6,5 \text{ т} & - \text{ сдвиг на } 0,8 \text{ ед. рН}_{\text{сол}} \\ \text{внесено } 1 \text{ т} & - \text{ сдвиг на } x \text{ ед. рН}_{\text{сол}} \\ x & = (0,8 \times 1) : 6,5 = 0,13 \text{ ед. рН}_{\text{сол}}; \end{aligned}$$

В таблице 1 находим нормативный сдвиг от внесения от 1 тонны известковых удобрений в группе 4,6 - 5,0 – 0,15 ед. рН<sub>сол.</sub> Фактический сдвиг – 0,13. Вывод: известкование проведено качественно.

Произвесткованные поля обозначаются на картограмме, заносятся в «Книгу истории полей», указывается фактически внесенное количество действующего вещества (т/га), вид известкового удобрения.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое химическая мелиорация почв?
2. Перечислите известковые удобрения.
3. На какой величине основаны методы расчета доз известки?
4. Каким образом определяют место внесения известки в севообороте?
5. Какие виды контроля проведения известкования используют в сельском хозяйстве?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

### Распознавание органических удобрений. Расчет накопления органических удобрений, определение норм внесения

**Цель работы:** Научиться распознавать органические удобрения по внешним признакам, степень разложения подстилки и влажность весовым методом. Рассчитать накопление органических удобрений, норм внесения в севообороте.

**Материалы и оборудование.** Набор органических удобрений; чашки Петри; шпатели; пинцеты; бюксы; весы; сушильный шкаф; методические указания по агрохимии; справочник по удобрениям.

**Задание.** Студент получает 2-3 образца зашифрованных органических удобрений и, пользуясь коллекцией удобрений, определяют их вид. Затем описывает все образцы органических удобрений. Определяет степень разложения подстилки и влажность.

По выданному заданию рассчитывают накопление органических удобрений на предприятии и определяют место, время и нормы внесения органики в севообороте.

**Ход выполнения работы.** Проводят органолептический анализ для описания внешнего вида, степени разложения подстилки. Для определения влажности взвешивается прокаленный бюкс, на 1/3 заполняется органическим удобрением, снова взвешивается. Далее бюкс с удобрением помещается в сушильный шкаф при  $t = 104^{\circ}\text{C}$ . После получения абсолютно сухой массы бюкс с пробой органических удобрений вынимается и охлаждается в эксикаторе, затем взвешивается. Результаты записывают в таблицу 1.

Таблица 1 – Форма записи результатов

Вид органического удобрения	Степень разложения	Влажность, %	Характерные признаки, цвет, запах, составляющие

**Методические указания.** В зависимости от степени разложения подстилки и остатков корма можно выделить:

1. Свежий навоз.
2. Слаборазложившийся навоз – подстилка и кормовые остатки незначительно изменили цвет и прочность.
3. Полуперепревший навоз – подстилка, кормовые остатки темно-коричневого цвета, потеряли прочность и легко разрываются. Масса навоза по сравнению со свежим уменьшилась на 10–30 %.

4. Перепревший навоз – однородная масса с трудно различающимися составными частями. На этой стадии теряется около половины массы от свежего навоза.

5. Перегной – черная однородная темноокрашенная масса, сыпучая, потери составляют 75 % от массы свежего навоза.

Расчет влажности органического удобрения определяется по формуле (1):

$$U = \frac{b}{a} * 100, \quad (1)$$

где  $U$  – влажность органического удобрения, %;  $b$  – испарившаяся влага, г;  $a$  – масса сырой навески, г.

### **Расчет накопления органических удобрений.**

Прежде всего, необходимо перевести всё поголовье животных и птицы в условные головы (коровы, быки, лошади – 1,0; молодняк КРС (до 2 лет) – 0,6; свиньи – 0,3; овцы, козы – 0,1; птица – 0,02).

*Пример расчета.*

На предприятии имеется 100 голов КРС и 250 голов свиней.

Количество условных голов будет равно:

1) для КРС:  $100 * 1 = 100$  усл. г.;

2) для свиней:  $250 * 0,3 = 75$  усл. г., из них 45 усл. г. содержится на подстилке и 30 усл. г. – без подстилки.

Выход экскрементов на одну условную голову составляет 45-50 кг в сутки. Подстилка 4-6 кг соломы или 3-20 кг торфа (соломы) в сутки.

Стойловый период – 200 дней в году, за это время на ферме накапливается 100 % навоза. Остальные 165 дней, если животные выходят на пастбище, накопить можно только 50 % навоза. Если животные находятся в стойле круглый год (например, свиньи), стойловый период будет составлять 365 дней.

*Пример расчета:*

1) для КРС (при смешанном содержании)

Выход экскрементов в сутки составит:

при стойловом содержании 45 кг, подстилка 5 кг соломы, всего 50 кг.

При пастбищном содержании  $45 \text{ кг} * 50 \% = 22,5 \text{ кг}$ .

Выход навоза =  $100 \text{ усл. г.} * 200 \text{ дней} * 50 \text{ кг} + 100 \text{ усл. г.} * 165 \text{ дней} * 22,5 \text{ кг} = 1371250 \text{ кг} = 1371,25 \text{ т}$ ;

2) для свиней (при стойловом содержании на подстилке)

Выход экскрементов в сутки составит 45 кг, подстилка 5 кг соломы, всего 50 кг.

Выход навоза =  $45 \text{ усл. г.} * 365 \text{ дней} * 50 \text{ кг} = 821250 \text{ кг} = 821,25 \text{ т}$ .

Общий выход навоза на предприятии составит 2192,5 т навоза в год.

Если технология содержания животных предусматривает получение бесподстилочного навоза, выход навоза за год (20 т на голову) следует привести

к влажности 75 %, определив коэффициент пересчета (K) по формуле (2):

$$K = \frac{100 - B_{ж}}{100 - 75}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент пересчета жидкого навоза в твердый;  $B_{ж}$  – процент воды в жидком навозе; 75 – стандартный процент воды в твердом навозе.

Если влажность бесподстильного навоза не определялась, можно использовать усредненные коэффициенты для пересчета в твердый навоз 75 % влажности: полужидкий навоз – 0,5; жидкого навоза комплексов – 0,2; навозных стоков и жижи – 0,06.

*Пример расчета:*

Выход жидкого навоза в животноводческом комплексе составит 45 кг, коэффициент перевода жидкого навоза в твердый составляет 0,2, стойловый период – 365 дней. Проводим расчет:

$$30 \text{ усл. голов} * (45 \text{ кг} * 0,2) * 365 \text{ дней} = 98\,550 \text{ кг} = 98,55 \text{ т.}$$

Общий выход навоза на предприятии составит 2291,05 т.

Данные заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Производство навоза в хозяйстве

Вид навоза	Поголовье скота в хозяйстве (в пересчете на условные головы КРС) 175 гол. и его содержание					
	стойловое на подстилке зимой, летом – пастбищное 100 гол.		стойловое на подстилке круглый год – 45 гол.		бесподстильное в комплексах 30 гол.	
	выход навоза, т					
	от головы	всего	от головы	всего	от головы	Всего
Подстилочный (75 %-ная влажность), в т. ч.	50	1371,25	50	821,25		
	50	1371,25	50	821,25		
на соломенной подстилке						
на торфяной подстилке						
Жидкий, всего					45	1350,00
в т. ч. в пересчете на 75 %-ную влажность					9	98,55

Общий выход навоза в хозяйстве (на 75 %-ную влажность) составит 2291,05 т.

При недостаточном выходе органических удобрений на предприятии для закрытия потребности в органике следует спланировать приготовление компостов и включить посеvy сельскохозяйственных культур на зеленое удобрение. Для приготовления компостов используют бесподстильный навоз. В нашем примере на компостирование можно использовать 98,55 т навоза, таблица 3.

Таблица 3 – Приготовление компостов и зеленого удобрения

Вид органических удобрений	Соотношение компостируемых материалов	Навоз	Компостируемый материал (наполнитель)		Всего, т
			торф	солом	
Торфонавозный	1 : 1	98,55	98,55		197,1
Торфо-жижевый					
Зеленое удобрение	х	х	х	х	
Солома на удобрения	х	х	х		

Всего будет накоплено органических удобрений  $(2292,05-98,55)+197,1=2389,6$  т.

Качество органических удобрений зависит от вида животного и его возраста, качества корма, химического состава подстилки, технологии заготовки навоза и компостирования, способа и сроков хранения, степени разложения навоза.

Для правильной организации работ по накоплению достаточного количества органических удобрений следует проводить мероприятия по увеличению их производства, упорядочению хранения, приготовления компостов, технологии и сроков внесения.

Внесение органических удобрений положительно влияет на физические свойства почвы, активизирует ее микрофлору, пополняет запасы гумуса, а минерализуясь, они дают растениям все необходимые элементы питания. Поэтому очень важно спланировать внесение органических удобрений с бездефицитным балансом по органическому веществу или с положительным балансом.

Используя нормативные данные, в зависимости от гранулометрического состава почв рассчитывается потребность в органических удобрениях для бездефицитного баланса гумуса на всю площадь хозяйства.

Таблица 4 – Нормативы потребности органических удобрений, т/га севооборотной площади в год

Дерново-подзолистые почвы	Для бездефицитного баланса при удельном весе пропашных культур, %			Для слабого положительного баланса гумуса при его содержании в почве, %				Образуется гумуса из 1 т навоза, кг
	10	20	30	до 1,5	1,51-2,0	2,01-2,5	более 2,5	
Суглинистые	10,0	11,0	12,0	3,0	2,0	1,0	0,5	50,0
Супесчаные, подстилаемые мореной	12,0	12,5	13,0	3,4	2,3	1,2	0,6	45,0
Супесчаные, подстилаемые песками	13,0	14,0	15,0	3,8	2,6	1,4	-	40,0
Песчаные	15,0	16,0	18,0	4,3	3,0	1,7	-	35,0

Например, на предприятии севооборот площадью 300 га: I – картофель (60 га), II – озимая пшеница (80 га), III – яровой ячмень (82 га), IV – зернобобовые (78 га). Почвы – дерново-подзолистые суглинистые. Доля пропашной культуры в севообороте рассчитывается так:  $(60 \text{ га} : 300 \text{ га}) \times 100 \% = 20 \%$ . По таблице 4 на пересечении горизонтальной строки – «Суглинистые» и вертикальной – 20 % пропашных находим дозу внесения органических удобрений – 11 т/га, умножаем ее на всю площадь севооборота и получаем **потребность в органических удобрениях на весь севооборот – 3300 т.**

Сравниваем потребность в органике с фактически имеющимся в хозяйстве ее количеством. Если факт меньше потребности, планируют введение в севооборот сидератов или приготовление компостов.

Органику планируют вносить не под все культуры севооборота, а только под те, где затраты по применению хорошо окупаются урожаем.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие органические удобрения вы знаете?
2. В чем ценность органических удобрений?
3. На какой стадии разложения экономически более выгодно использовать навоз?
4. Зачем определяется влажность органических удобрений?
5. Назовите растения, используемые на зеленое удобрение.
6. Каковы особенности использования птичьего помета как удобрения?
7. Значение органических удобрений, пути увеличения накопления и улучшения использования, влияние их на показатели почвенного плодородия.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

### Распознавание минеральных удобрений по внешним признакам и качественным реакциям

**Цель работы:** Научиться распознавать минеральные удобрения по внешним признакам и качественным реакциям.

**Материалы и оборудование.** Образцы минеральных удобрений; штативы с пробирками; стеклянные палочки; древесный уголь; горелка или спиртовка; щипцы; пинцеты; шпатели; фарфоровые чашки; пипетки; растворы: 10 % HCl; 1 % AgNO<sub>3</sub>; 10 % BaCl<sub>2</sub>; 10 % NaOH; дифениламин (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)NH; методические указания по агрохимии; справочник по удобрениям.

**Задание.** Студент получает два–три вида зашифрованного минерального удобрения и, пользуясь коллекцией образцов минеральных удобрений, реактивами и оборудованием, точно определяет удобрения и записывает их химическую формулу. Далее описывает все минеральные удобрения коллекции, их отличительные признаки и качественные реакции, заполняет таблицу.

#### **Ход выполнения работы.**

Сначала внимательно осматривают удобрение, определяют его цвет, запах, влажность, характер кристаллов или гранул и т. д. Затем из каждого зашифрованного образца отбирают 1-2 г удобрения, растворяют в десятикратном количестве дистиллированной воды, хорошо взбалтывают, отмечая растворимость удобрений. После растворения удобрения раствор разливают поровну в три чистые пробирки для проведения качественных реакций. В четвертую пробирку насыпают щепотку сухого удобрения.

В пробирки с раствором добавляют:

в первую – 10 % NaOH для установления наличия аммиака в удобрении;

во вторую – 10 % BaCl<sub>2</sub> для определения наличия в удобрении сульфат-иона;

в третью – 1 % AgNO<sub>3</sub> для установления наличия хлора;

в четвертую пробирку с сухим удобрением добавляют 10 % HCl для определения карбонат-иона.

Реакции с труднорастворимыми удобрениями выполняют путём прибавления реактивов к прозрачной жидкости над нерастворившимися удобрениями.

Реакция с дифениламином выявляет наличие нитрат-иона. Раствором удобрения смачивается фарфоровая чашка, добавляются 3-4 капли дифениламина.

Также определяют поведение на угле. На раскаленный в ложечке или на шпателе уголь насыпают 0,2-0,3 г удобрения (с кончика ножа) и наблюдают за быстротой сгорания, цветом пламени, запахом.

Результаты проведённых реакций заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Внешние признаки и качественные реакции основных минеральных удобрений

Номер образца	Удобрения	Формула	Внешние признаки (цвет, запах, влажность, характер кристаллов/гранул и т. д.)	Содержание действующего вещества, %	Растворимость	Характерные реакции					Поведение на раскаленном угле
						NaOH	BaCl <sub>2</sub>	AgNO <sub>3</sub>	HCl	дифениламином	

### Методические указания.

В сельском хозяйстве применяют различные виды и формы удобрений. Эффективное использование удобрений не может быть осуществлено без знания их вида и норм внесения. Органические удобрения получают непосредственно в хозяйствах. Они резко различаются по внешнему виду и свойствам, поэтому нет необходимости определять их с помощью качественных реакций.

Большое сходство некоторых минеральных удобрений, особенно в результате загрязнений при транспортировке и хранении, часто затрудняет распознавание их в производственных условиях, что обуславливает необходимость быстрого и качественного аналитического определения удобрений в лабораторных условиях.

**Цвет.** Устанавливают визуально, принимая во внимание возможность его изменения при транспортировке и хранении.

Окраска удобрений зависит от исходного сырья и технологии их производства, поэтому не всегда является важным признаком.

**Строение.** Удобрения подразделяются на порошковидные кристаллические и гранулированные. Кристаллы могут быть крупными и мелкими, чтобы не ошибиться, мелкие кристаллы растирают между пальцами. Они более прочные (твердые), чем порошки, и не прилипают.

**Растворимость в воде.** Минеральные удобрения делят условно на четыре группы – хорошо растворимые, заметно растворимые, трудно растворимые и не растворимые в воде.

Все кристаллические удобрения (азотные, калийные, аммофос) хорошо растворимы в воде, фосфорные и известковые удобрения относятся к трудно растворимым или нерастворимым (исключение составляет простой суперфосфат, при растворении в воде фосфорная кислота переходит в раствор, а сернокислый кальций остается в осадке).

Для определения растворимости в пробирку помещают 1 г удобрения, приливают 10 мл дистиллированной воды, встряхивают и наблюдают.

**Поведение на раскаленном угле** позволяет установить вид удобрения (нитратное, аммонийное, калийное и др.). На раскаленный уголь помещают 0,2 г удобрения и наблюдают за цветом пламени, быстротой сгорания, запахом.

Реакция удобрений на раскаленном угле позволяет разделить такие удобрения, как  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , т. е. селитры и мочевины. При этом селитры вспыхивают и окрашивают пламя: калийная в фиолетовый цвет, а натриевая – в желто-оранжевый, кальциевая – пламя не окрашивает, плавится, оставляя белый налет. Аммиачная селитра на раскаленном угле плавится с выделением белого дыма и запаха аммиака. Мочевина на раскаленном угле дымит и выделяет аммиак. Калийные удобрения на раскаленном угле остаются без изменения или потрескивают, фосфорные остаются без изменений или темнеют.

Для безошибочного распознавания удобрений необходимо использовать как внешние признаки, так и качественные реакции.

#### **Качественные реакции.**

В состав кристаллических удобрений входят следующие ионы, которые достаточно легко определяются качественными реакциями:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ .

1. *Реакция со щелочью ( $\text{NaOH}$ )* необходима для установления наличия аммиака в удобрении. К 2 мл водного раствора удобрения в пробирке добавляют 1 мл щелочи, и смесь осторожно подогревают на газовой горелке или на спиртовке. Присутствие аммиака определяется по посинению введенной в отверстие пробирки красной лакмусовой бумажки или (при отсутствии лакмуса) по запаху.

2. *Реакция с хлористым барием ( $\text{BaCl}_2$ )* показывает присутствие в удобрении сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). К раствору удобрения добавляют 2-3 капли раствора  $\text{BaCl}_2$ . Если в растворе находится сульфат-ион, выпадает белый осадок сульфата бария ( $\text{BaSO}_4$ ), не растворяющийся при добавлении 10 %-ной соляной кислоты.

3. *Реакция с азотнокислым серебром ( $\text{AgNO}_3$ )*. К раствору удобрения прибавляют 2-3 капли раствора  $\text{AgNO}_3$ , и содержимое пробирки встряхивают.

Появление белого створаживающегося осадка хлористого серебра указывает на присутствие в удобрении хлор-иона ( $\text{Cl}^-$ ).

Если образуется желтый осадок, удобрение содержит фосфор (фосфорнокислое серебро, возникающее в процессе реакции, окрашено в желтый цвет).

Азотнокислое серебро дает белый осадок также и с сульфат-ионом ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), однако в этом случае осадка образуется гораздо меньше, чем при реакции сульфат-иона с хлористым барием.

4. *Реакция с кислотой ( $\text{HCl}$ )*. Обнаруживает в удобрении карбонат-ион ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). В сухую пробирку помещают около 1 г сухого удобрения и приливают несколько капель 10 %-ной соляной кислоты. Вскипание содержимого пробирки

(выделение пузырьков углекислого газа) указывает на присутствие в удобрении карбонатов.

Если вскипание слабое (выделяются пузырьки), это указывает на то, что карбонаты находятся в удобрении в качестве примесей, например, в томасшлаке или фосфатшлаке.

5. *Реакция с дифениламином* выявляет наличие нитрат-иона ( $NO_3$ ). Раствором удобрения смачивается фарфоровая чашка, добавляются 1-2 капли дифениламина. Синее окрашивание указывает на наличие  $NO_3$ .

После проведения качественных реакций и занесения данных в таблицу 1 с помощью таблицы 2 определяют вид минерального удобрения и заполняют недостающие данные в таблице 1.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие виды азотных удобрений вы знаете, от чего зависит их агрономическая эффективность?
2. Какие виды фосфорных удобрений вы знаете, сколько они содержат действующего вещества?
3. Какие виды калийных удобрений вы знаете, какие лучше вносить под сельскохозяйственные культуры и почему?
4. Какие вы знаете комплексные удобрения?
5. Какие вы знаете известковые удобрения?

Таблица 2 – Основные физические и химические свойства минеральных удобрений

Удобрение	Формула	Внешний вид	Растворимость в воде	Взаимодействие раствора удобрений с:					Поведение на раскаленном угле
				NaOH	BaCl <sub>2</sub>	AgNO <sub>3</sub>	HCl	дифениламино	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аммиачная селитра	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Белая кристаллическая, иногда слегка желтоватая масса или гранулы	Хорошая, при растворении ощущается небольшое охлаждение стенок пробирки	Запах аммиака, при нагревании усиливается	Осадка не образует, может появляться муть	Осадка не образует, может появляться муть	Реакции нет	Окрашивание в синий цвет	Плавится, кипит, дает белый дым и запах аммиака
Натриевая селитра	Na NO <sub>3</sub>	Крупные бесцветные кристаллы	Хорошая, при растворении ощущается небольшое охлаждение стенок пробирки	Запах аммиака не ощущается	Наблюдается небольшое помутнение (от примесей)	Выпадает небольшой осадок (от примесей)	Реакции нет	Окрашивание в синий цвет	Дает вспышку желто-оранжевого цвета
Сульфат аммония	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Мелкие светло-серые кристаллы	Хорошая	Выделяется аммиак	Выпадает белый осадок, не растворимый в кислоте	Наблюдается небольшое помутнение	Реакции нет	Реакции нет	Пахнет аммиаком, не плавится, вспышки угля не дает. Разлагается с потрескиванием. Желтый цвет пламени (от примесей)
Мочевина	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Белое гранулированное	Хорошая	Выделяется аммиак	Осадок не образуется	Осадок не образуется	Реакции нет	Реакции нет	Плавится, дымит, пахнет аммиаком
Хлористый аммоний	NH <sub>4</sub> Cl	Белого или желтоватого цвета	Хорошая	Выделяется аммиак	Осадок не образуется	Выпадает белый творожистый осадок	Реакции нет	Реакции нет	Выделяется аммиак

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хлористый калий	KCl	Белые или розовые мелкие кристаллы	Хорошая	Реакции нет	Осадок не образуется	Выпадает белый творожистый осадок	Реакции нет	Реакции нет	Потрескивает
Сернокислый калий	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Белые кристаллы	Хорошая	Запах аммиака не ощущается	Образуется обильный белый осадок	Осадок не образуется	Реакции нет	Реакции нет	Потрескивает
Калийная соль	KCl+NaCl	Смесь белых мелких кристаллов хлористого калия с оранжевыми, бурыми, синими или бесцветными крупными кусочками сильвинита	Хорошая	Запах аммиака не ощущается	Осадок не образуется	Выпадает белый осадок	Реакции нет	Реакции нет	Потрескивает. Желтый цвет. При рассмотрении пламени через синее стекло заметно фиолетовое окрашивание
Аммофос, диаммофос	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Серые гранулы	Хорошая	Выделяется аммиак	Обильный белый осадок	Выпадает желтый осадок	Реакции нет	Реакции нет	Плавится, ощущается запах аммиака
Нитрофоска, нитроаммофоска	-	Серо-розовые гранулы	Растворяется частично	Выделяется аммиак	Осадок не образуется		Реакции нет	Окрашивание в синий цвет	Плавится, ощущается запах аммиака
Суперфосфат	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Светло-серый или серый порошок или гранулы	Растворяется частично	Запах аммиака не ощущается	Выпадает белый осадок, частично растворимый в уксусной кислоте	Выпадает желтый осадок	Не вскипает и не пенится или вскипает и пенится незначительно	Реакции нет	Желтый цвет (от примесей)

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Фосфоритная мука	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Серый порошок	Не растворяется	Запах аммиака не ощущается			Вскипает и пенится	Реакции нет	Не изменяется
Известняк	$\text{CaCO}_3$	Порошок белёсого цвета	Растворяется частично	Запах аммиака не ощущается			Вскипает и пенится	Реакции нет	Не изменяется
Сильвинит	$\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$	Розовые кристаллы	Хорошая	Запах аммиака не ощущается	-	Выпадает белый творожистый осадок		Реакции нет	Желтый цвет. При рассмотрении пламени через синее стекло заметно фиолетовое окрашивание

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8.

### Расчет доз минеральных удобрений в севообороте

**Цель работы:** Научиться определять потребность в минеральных удобрениях культур в севообороте на основании агрохимического анализа почвы и использования органических удобрений.

**Материалы и оборудование.** Для выполнения работы требуется IBM PC совместимый компьютер и интегрированный пакет прикладных программ MS Office версии не ниже 2010. Результаты лабораторной работы 6 (расчет накопления органических удобрений).

**Задание.** На основании полученных данных лабораторной работы 5 и индивидуальных заданий, выданных преподавателем, определить потребность минеральных удобрений по заданным агрохимическим показателям почвы, учитывая последствие внесенных органических удобрений. Заполнить таблицу 1 с помощью прикладных программ MS Office (MS Excel).

Таблица 1 – Расчет норм минеральных удобрений на запланированный урожай, кг д. в-ва/га

Показатель расчетов	Культура I, т/га			Культура II, т/га			Культура ..., т/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Вынос с урожаем, кг/га									
2. Естественные ежегодные потери, кг/га									
3. <i>ИТОГО УБЫЛЬ NPK</i>									
4. Содержание в пахотном горизонте почвы, мг/кг									
5. Содержание в пахотном горизонте почвы, кг/га									
6. Коэффициент использования элементов питания из почвы, %									
7. Будет использовано растениями из почвы, кг/га									
8. Внесено с органическими удобрениями, кг/га									
9. Коэффициент использования элементов питания из навоза, %									
10. Будет использовано растениями из навоза, кг/га									
11. Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га									
12. Коэффициент использования элементов питания из минеральных удобрений, %									
13. Поправочный коэффициент к дозе с учетом усвоения NPK									
14. Необходимо внести с минеральными удобрениями с учетом коэффициента усвоения, кг д. в./га									



### **Методические указания.**

Питание растений характеризуется избирательной способностью извлекать различные химические элементы из почвы. Разные виды растений, произрастающая на одной и той же почве, поглощают из неё минеральные вещества в различных соотношениях. За период вегетации растения выносят определенное количество питательных веществ, необходимых для формирования урожайности.

Существуют различные способы установления доз минеральных удобрений, которыми следует правильно пользоваться в зависимости от конкретных условий в хозяйстве.

При расчёте доз удобрений на планируемый уровень урожайности культур используют балансовый метод и на дополнительную прибавку урожайности. Чаще всего на практике дозы рассчитывают балансовым методом.

Метод основан на разнице между приходными (содержание элементов питания в почве, органических и минеральных удобрениях) и расходными (вынос планируемой урожайности, естественные потери элементов из почвы) статьями элементов питания.

Содержание в почве фосфора и калия определяется по агрохимическому паспорту. Ввиду большой подвижности нитратного и аммиачного азота при составлении агрохимического паспорта данные по соединениям азота не приводят.

Запасы азота можно определить двумя способами:

1) по содержанию гумуса в почве. Запасы подвижного азота в почве, усваиваемого растениями, можно определить по содержанию гумуса. Растения усваивают из запасов почвы 20-25 кг азота на каждый процент гумуса. Например, если содержание гумуса составляет 2 %, то растения могут использовать 45-50 кг/га (2 % x 20-25 кг);

2) по запасам минерального азота, оставшегося после предшествующих культур. Согласно многолетним данным ФГБУ ЦАС «Калининградский», запас минерального азота по группам предшественников распределяется следующим образом:

- 1-я группа: озимые и яровые зерновые (пшеница, рожь, тритикале, ячмень, овес, гречиха) – 60 кг д. в./га;
- 2-я группа: озимый и яровой рапс – 80 кг д. в./га;
- 3-я группа: пропашные (картофель, кукуруза, корнеплоды, капуста), многолетние бобовые травы (люцерна, люпин), зернобобовые – 90 кг д. в.

Содержание элементов питания в органических удобрениях определяют по лабораторным анализам или по справочным таблицам (таблица 2).

Потребность растений в элементах питания определяется по их выносу для получения запланированной урожайности по формуле (1):

$$X, \text{ кг/га} = \Pi \times B, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – планируемый уровень урожайности, т/га;  $B$  – вынос элементов питания 1 т урожая (таблица 3).

Таблица 3 – Вынос элементов питания с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг д. в-ва

Культуры	Вид продукции	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
Озимая пшеница	Зерно	28,2	10,8	19,2	4,7	3,1	5,0
Озимая рожь	Зерно	28,0	12,1	23,3	4,1	3,1	6,0
Яровой ячмень	Зерно	29,0	11,9	27,4	4,8	3,0	9,0
Овес	Зерно	25,9	12,4	28,6	4,2	3,3	12,0
Люпин	Зерно	84,3	19,9	44,0	18,8	8,5	14,2
Горох	Зерно	58,9	14,0	29,0	24,0	4,8	10,5
Бобы кормовые	Зерно	53,0	18,1	32,1	25,0	7,4	11,9
Вика яровая	Зерно	60,0	18,0	38,0	21,4	6,6	12,1
Озимый рапс	Семена	58,0	29,0	86,0	5,2	1,9	19,0
Картофель столовый	Клубни	5,4	1,6	10,7	2,2	1,1	8,0
Капуста белокочанная	Кочаны	4,0	1,0	4,5	5,8	2,0	2,0
Томаты	Плоды	1,6	5,0	2,8	2,0	1,7	1,0
Огурцы	Плоды	1,3	5,0	2,3	1,5	1,0	6,0
Лук	Луковицы	3,0	1,2	4,0	2,0	1,1	6,0
Зеленые овощи	Товарная продукция	3,0	1,0	4,5	-	-	-
Кормовая свекла	Корнеплоды	3,5	1,1	7,8	9,0	8,0	1,0
Морковь кормовая	Корнеплоды	2,6	1,0	5,0	9,0	8,0	1,0
Озимая рожь	Зеленая масса	4,8	1,2	4,0	1,2	6,0	7,0
Озимый рапс	Зеленая масса	5,0	7,0	4,7	2,8	1,1	4,0
Редька масличная	Зеленая масса	4,3	1,3	5,5	1,6	1,0	8,0
Кукуруза на силос	Зеленая масса	3,3	1,2	4,2	6,0	5,0	9,0
Однолетние злаковые травы	Зеленая масса	2,8	1,1	5,1	1,4	6,0	6,0
Однолетние бобовые травы	Зеленая масса	4,6	1,2	4,0	3,5	9,0	8,0
Многолетние злаковые травы	Семена	195,0	75,0	185,0	4,1	3,5	49,5
Многолетние бобовые травы	Семена	260,0	65,0	200,0	19,1	9,0	38,4
Многолетние злаковые травы	Сено	14,9	4,5	24,1	4,9	2,0	1,5
Многолетние бобовые травы	Сено	23,4	5,1	27,2	15,3	7,6	2,6
Сенокосы	Сено	16,1	4,9	22,0	9,5	4,1	2,0
Пастбища	Зеленая масса	5,3	8,0	4,9	2,5	1,2	5,0
Плодовые деревья	Плоды	5,0	1,6	6,0	-	-	-
Ягодники	Ягоды	9,1	3,0	9,6	-	-	-
Растениеводческая продукция (на 100 к. ед.)	к. ед.	21,0	8,0	22,0	8,1	4,3	5,3

Вынос элементов питания в одних и тех же почвенно-климатических условиях – величина относительно постоянная, не зависящая от величины урожая, и определяется лишь видовыми и биологическими особенностями отдельных сельскохозяйственных культур. Этот вынос частично компенсируется поступлением элементов из почвенного слоя почвы и органических удобрений.

Вынос азота бобовых культур необходимо откорректировать, так как эти культуры с помощью клубеньковых бактерий способны фиксировать азот из атмосферы, следующим образом: вынос азота многолетними бобовыми культурами брать из расчёта  $\frac{1}{2}$ , а зернобобовыми –  $\frac{2}{3}$  от фактического.

Таблица 2 – Содержание элементов питания в органических, зеленых удобрениях и подстилке, %

Органические удобрения	Вода	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Свежий навоз на соломенной подстилке:							
- лошадей	76	0,64	0,35	0,35	0,15	0,12	0,66
- КРС	84	0,40	0,19	0,30	0,35	0,13	0,04
- свиней	82	0,50	0,41	0,26	0,09	0,10	0,04
Полуперепревший навоз КРС (8 мес.)	68	0,73	0,40	0,80	0,70	0,13	0,04
Жидкий навоз:							
- КРС	90-95	0,25	0,12	0,30	0,15	0,10	-
- свиной	90-95	0,30	0,10	0,20	0,20	0,10	-
Навоз овец, коз	60-65	0,83	0,25	0,67	-	-	-
Помет кур, уток	56-70	0,50-1,60	0,50-1,50	0,80-0,90	0,80-0,90	0,20-0,70	0,30-0,40
Компосты торфонавозные 1:1	65-75	0,60	0,18	0,30	0,20	0,10	-
Сапропель	70-80	0,40-2,50	0,04-0,03	0,04-0,08	0,10-1,90	0,08-0,30	-
Солома	14	0,45	0,26	1,00	0,29	0,10	-
Люпин (з/м)	87	0,50	0,11	0,20	0,46	0,06	-
Рожь озимая (з/м)	85	0,09	0,16	0,20	0,05	0,02	-
Солома злаковых	14	0,34-0,50	0,13-0,20	0,90-1,12	0,21-0,28	0,07-0,10	0,30
Солома бобовых	14	1,25-1,29	0,16-0,29	1,07-1,94	0,91-1,20	0,16-0,26	-
Клевер (сено)	16	1,97	0,56	1,50	2,35	0,76	0,14
Торф	60	0,70-1,00	0,03-1,10	0,03-0,07	0,04-0,94	-	-
Опилки древесные	30	0,04	0,02	0,04	-	-	-
Биогумус	60	0,80	0,80	0,90	0,20	0,40	-

Помимо выноса питательных элементов урожаем, учитывается их расход при вымывании в грунтовые воды, смыв с поверхности в результате эрозии. Потери элементов питания от перемасленных процессов, в зависимости от гранулометрического состава почвы, могут достигать значительных величин (таблица 4).

Таблица 4 – Ежегодные потери элементов питания от вымывания и слабой степени эрозии, кг/га

Почвы	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Дерново-подзолистые:						
- суглинистые;	15	2	12	65	16	16
- супесчаные;	26	3	13	107	26	26
- песчаные.	28	4	20	115	32	30
Торфяно-болотные	24	2	15	119	18	17

Из органических удобрений растения используют элементы питания не один год, поэтому необходимо рассчитывать использование не только той культурой, куда их вносят, но и последующими двумя. При внесении удобрений следует учитывать, что не все количество элементов питания усваивается растениями. Степень усвоения растениями элемента питания, вносимого с удобрением, выражается коэффициентом использования (таблица 5).

Таблица 5 – Примерные коэффициенты использования элементов питания из почвы, органических и минеральных удобрений, %

Наименование источника	Коэффициент использования		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Почва дерново-подзолистая	8,0-12,0	6,0-10,0	8,0-14,0
Минеральные удобрения	55,0-65,0	38,0-42,0	65,0-75,0
Подстилочный навоз:			
- в 1-й год использования	20,0-25,0	25,0-30,0	50,0-60,0
- во 2-й год использования	17,0-23,0	10,0-16,0	10,0-15,0
- в 3-й год использования	8,0-12,0	3,0-7,0	–
- в целом за ротацию севооборота	50,0-55,0	40,0-50,0	60,0-75,0

Минеральные удобрения имеют неодинаковое содержание питательных веществ.

Рассмотрим порядок проведения расчетов на конкретном примере (таблица 6).

Основная культура – озимая пшеница (урожайность – 7 т/га), предшественник – озимый рапс. Почва дерново-слабосуглинистая (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 120; K<sub>2</sub>O – 140 мг/кг почвы).

В качестве органических удобрений вносили торфонавозный компост в норме 20 т/га.

Таблица 6 – Пример расчета норм минеральных удобрений на запланированный урожай балансовым методом, кг д. в-ва/га (предшественник – озимый рапс)

Показатель расчетов	Озимая пшеница, 7 т/га			Примечание
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1. Вынос с урожаем, кг/га	287	84	175	Урожайность, т/га × вынос 1 т (осн. + поб.) (таблица 3)
2. Естественные ежегодные потери, кг/га	15	2	12	Таблица 4 – с учетом типа почвы и ее гранулометрического состава
3. <i>ИТОГО УБЫЛЬ NPK</i>	302	86	187	Сумма строк 1 и 2 по отдельным элементам
4. Содержание в пахотном горизонте почвы, мг/кг	-	120	140	Анализы почвы и агрохимический паспорт (см. условия варианта)
5. Содержание в пахотном горизонте почвы, кг/га	-	360	420	Пересчет на массу A <sub>пах</sub> : строка 4 × 3 (коэффициент пересчета на пахотный горизонт)
6. Коэффициент использования элементов питания из почвы, %	-	8	10	Таблица 5
7. Будет использовано растениями из почвы, кг/га	80*	29	42	Расчет: (строка 5 × строку 6) : 100 %
8. Внесено с органическими удобрениями, кг/га	120	32	60	Норма внесения органических удобрений × содержание элементов питания (таблица 2)
9. Коэффициент использования элементов питания из навоза, %	25	25	50	% использования NPK из навоза, таблица 5
10. Будет использовано растениями из навоза, кг/га	30	8	30	Расчет: (строка 8 × строку 9) : 100 %. Необходимо учитывать, что вносится навоз один раз в несколько лет, а использование элементов питания происходит в течение 2-3 лет
11. Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га	192	49	115	Расчет: (строка 3) – (строка 7+ строка 10)
12. Коэффициент использования элементов питания из минеральных удобрений, %	65	40	70	Таблица 5
13. Поправочный коэффициент к дозе с учетом усвоения NPK	1,54	2,5	1,43	Расчет: 100 % : строку 12
14. Необходимо внести с минеральными удобрениями с учетом коэффициента усвоения, кг д. в./га	296	122	165	Расчет: строка 11 × строку 13

**Примечание.** Содержание запасов азота в почве рассчитываем по запасам минерального азота, оставшегося от предшествующей культуры. Предшественник – озимый рапс, соответственно, запас азота в почве составляет 80 кг д. в./га.

Рассчитанные дозы элементов питания под сельскохозяйственные культуры уточняются и корректируются в период вегетации растений. С этой целью применяются методы почвенной и растительной диагностики.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие показатели учитывают при расчете приходной части при внесении минеральных удобрений?
2. Как при расчете учитывают вносимые органические удобрения?
3. Как проводят пересчет действующего вещества в физический вес удобрений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9.

### Планирование системы удобрений на предприятии

**Цель работы:** Научиться определять потребность культур в севообороте в удобрениях в физическом весе и составлять годовой план использования удобрений в хозяйстве.

**Материалы и оборудование.** Для выполнения работы требуется IBM PC совместимый компьютер и интегрированный пакет прикладных программ MS Office версии не ниже 2010. Материалы и результаты расчетов лабораторной работы 5 (расчет потребности в известковых удобрениях), 6 (расчет накопления органических удобрений), 8(расчет потребности минеральных удобрений).

**Задание.** На основании полученных данных лабораторных работ 5, 6 и 8 (нормы известковых, органических и минеральных удобрений по культурам севооборота) составить плановую систему применения удобрений (таблица 1), годовой план внесения удобрений (таблица 2) и рассчитать сводную потребность в средствах химизации (таблица 3). Заполнить таблицы необходимо с помощью использования возможностей прикладных программ MS Office (MS Excel).

Таблица 3 – Годовая потребность предприятия в удобрениях, т ф. м.

№ севооборота и поля	Чередование культур	Площадь, га	Известковые удобрения	Органические удобрения			Минеральные удобрения		
			вид удобрения	вид удобрения	вид удобрения	...	вид удобрения	вид удобрения	...
I									
II									
III									
IV									
IV									
Итого по севообороту:									
Всего по хозяйству:									

#### **Методические указания.**

Система применения удобрений – это интегрированный план научно обоснованных агрохимических, агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий, направленных на эффективное использование удобрений.

Различают систему удобрения в хозяйстве, систему удобрения в севообороте и систему удобрения культуры.





Система удобрения в хозяйстве включает следующие организационно-хозяйственные мероприятия:

- накопление, приобретение, транспортировку и хранение минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов;
- распределение удобрений по подразделениям хозяйства; организацию и осуществление технологии их внесения;
- получение сведений об агрохимических условиях применения удобрений;
- контроль и учет экономической эффективности удобрений;
- меры по охране труда и окружающей среды.

Система удобрения в севообороте включает распределение удобрений между культурами, определение необходимости и разработку мероприятий по агрохимическому окультуриванию полей, оптимизации почвенного плодородия, контроль за балансом питательных веществ на полях севооборота, сведения об объемах агрохимических работ.

Система удобрения отдельной культуры складывается из определения потребности культуры в питательных веществах, установления доз, способов и сроков внесения удобрений с учетом биологических особенностей культуры, почвенных условий и технологии возделывания сельскохозяйственных культур, учета эффективности способов применения удобрений и оплаты удобрений прибавкой урожая.

Выбор системы удобрения зависит от специализации хозяйства, севооборота, набора и биологических особенностей возделываемых культур, ресурсов удобрительных средств, почвенных и климатических условий, технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Дозы удобрений, определенные различными методами, выражают в килограммах действующего вещества на гектар (кг д. в./га). Используемые удобрения имеют различное содержание действующего вещества. В этом случае говорят о физической массе удобрений, или физических туках. Для расчета доз удобрений в физической массе (туков) нужно учитывать процент действующего вещества в используемом удобрении.

*Пример.* Под озимую пшеницу необходимо внести  $N_{120}$ . В качестве удобрения запланировано использовать аммиачную селитру  $NH_4NO_3$ , содержащую 34 % N. Рассчитать количество аммиачной селитры в т/га, которая обеспечит заданную дозу.

Зная процентное содержание азота в удобрении, составляем пропорцию:

34 кг д. в. N содержится в 100 кг ф. м. аммиачной селитры

120 кг д. в. N – x кг ф. м.  $NH_4NO_3$ ,

$x = (120 \cdot 100) : 34 = 352,9$  кг ф. м./га.

Таким образом, для обеспечения дозы  $N_{120}$  необходимо внести 352,9 кг ф. м./га аммиачной селитры.

Для расчета физической массы удобрения можно воспользоваться формулой (1):

$$Д \text{ ф. м.} = Д \text{ д. в.} : С, \quad (1)$$

где Д ф. м. – доза удобрения в физической массе, кг ф. м./га; Д д. в. – доза действующего вещества, кг/га; С – содержание действующего вещества в удобрении, %.

При использовании комплексных удобрений, чтобы не вносить в почву избыточного количества питательных веществ, расчет осуществляют следующим образом.

Так, расчет дозы аммофоса и диаммофоса, как правило, ведут по фосфору, а недостающее количество азота вносят с простыми азотными удобрениями.

*Пример.*

Под подсолнечник требуется внести  $N_{40}P_{60}$ . В наличии имеется аммофос ( $NH_4H_2PO_4$ ), содержащий 12 % азота и 50 % фосфора, и мочевины ( $CO(NH_2)_2$ ) с содержанием азота 46 %.

Дозу аммофоса рассчитываем по фосфору:

50 кг  $P_2O_5$  содержится 100 кг аммофоса

60 кг  $P_2O_5$  – х кг аммофоса.

$x = 60 \cdot 100 : 50 = 120$  кг аммофоса.

С рассчитанной дозой (120 кг) аммофоса мы внесем 60 кг фосфора и некоторое количество азота. Рассчитаем, сколько азота мы внесем с аммофосом.

100 кг аммофоса содержит 12 кг N

120 кг аммофоса – х кг N.

$x = 12 \cdot 120 : 100 = 14$  кг N.

Недостающее количество азота  $40 - 14 = 26$  кг нужно внести с мочевиной.

46 кг N – 100 кг мочевины

26 кг N – х кг мочевины.

$x = 26 \cdot 100 : 46 = 56,5$  кг мочевины.

Таким образом, чтобы обеспечить дозу  $N_{40}P_{60}$ , необходимо внести аммофоса – 120 кг/га и мочевины – 56,5 кг/га.

Если используются удобрения, содержащие одинаковое количество элементов питания, расчет ведут по элементу, доза которого наименьшая, а недостающее количество остальных элементов питания дополняют простыми удобрениями.

*Пример.* Под капусту необходимо внести перед посадкой  $N_{40}P_{20}K_{20}$ . В хозяйстве имеется нитроаммофоска, содержащая по 17 % азота, фосфора и калия, а также аммиачная селитра с содержанием азота 34,5 %.

Расчет дозы нитроаммофоски ведем по фосфору и калию, т. е. на 20 кг д. в.

17 кг  $P_2O_5$  – 100 кг нитроаммофоски

20 кг  $P_2O_5$  – х кг нитроаммофоски

$x = 20 \cdot 100 : 17 = 117,6$  кг.

С 117,6 кг нитроаммофоски обеспечим внесение дозы  $N_{20}P_{20}K_{20}$ .

Недостающие 20 кг азота внесем с аммиачной селитрой, для чего требуется 60 кг.

Таким образом, перед посадкой капусты необходимо внести нитроаммофоски – 120 кг/га и аммиачной селитры – 60 кг/га.

Приобретаемые хозяйством минеральные удобрения обязательно должны быть зарегистрированы в «Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации», который ежегодно обновляется и дополняется.

Для обеспечения оптимальных условий питания сельскохозяйственных культур в течение всей вегетации необходимо правильное сочетание сроков и способов заделки удобрений. При этом планируемая годовая норма удобрений под культуру вносится в один или несколько приемов. Пример приводится в таблице 4.

На основе рассчитанных норм известковых, органических и минеральных удобрений под каждую культуру севооборота составляется годовой план внесения удобрений, в котором указывают распределение нормы удобрений по дозам внесения, срок внесения и марку техники для применения удобрений. Пример приведен в таблице 5.

Общая потребность в средствах химизации в тоннах физического веса приводится в форме сводной таблицы (пример в таблице 6). Она получается при суммировании удобрений по севообороту в целом или по нескольким севооборотам, итог – со всей посевной площади хозяйства.

Периодичность питания растений является теоретическим обоснованием дробного внесения удобрений – в различные приемы – время внесения по отношению к посеву сельскохозяйственных культур.

По срокам и технике внесения (способам заделки удобрений) различают: основное (допосевное), рядковое (припосевное) и послепосевное удобрение (или подкормку). Способ заделки удобрений: под плуг, плуг с предплужником, борону, культиватор. Приемы внесения удобрений – поверхностно, вразброс, ленточное, некорневое опрыскивание.

Научно обоснованная система питания растений в полевых условиях должна предусматривать сочетание основного (допосевного) удобрения (на глубину 15-20 см), припосевного (3-10 см) и иногда корневых и некорневых подкормок.

Выбор приема внесения решает следующие вопросы:

- создание условий максимальной доступности питательных веществ для растений путем приближения их к корневой системе;
- обеспечение растений на всех стадиях их развития, особенно в критический и максимальный периоды;
- сокращение возможных потерь элементов питания из почвы.

Таблица 4 – Пример плановой системы применения удобрений на предприятии (на 1 га)

№ севооборота и поля	Чередование культур	Планируемый урожай, т/га	Удобрения (всего)									Приемы внесения минеральных удобрений (д. в.), кг/га								
			известковые			органические			минеральные кг д.в./га			основное			припосевное			подкормки		
			форма удобрения	т/га	срок внесения	вид	т/га	сроки внесения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
I	Картофель	40	-	-	-	Компост	90	IX	120	140	180	60	130	170	10	10	10	50	-	-
II	Ячмень	5	CaCO <sub>3</sub> +MgCO <sub>3</sub>	5	X	-	-	-	130	90	90	80	80	90	-	10	-	50	-	-
III	Озимая пшеница	5	-	-	-	Компост	20	IV	149	70	68	30	60	68	-	10	-	40	-	-
IV	Озимая рожь	5	-	-	-	-	-	-	130	60	90	50	50	90	-	10	-	100	-	-
ИТОГО:		-	-	5	-	-	110	-	529	360	428	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Насыщенность удобрениями в расчете на 1 га (органические и известковые – в т, минеральные – кг д. в.)		-	-	1,3	-	-	27,5	-	132,3	90	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5 – Годовой план внесения удобрений (в т/га физической массы)

№ поля	Культура	Основное внесение			Припосевное внесение			Подкормки		
		вид удобрения, % д. в.	доза, т/га	срок внесения и марка машины	вид удобрения, % д. в.	доза	срок внесения и марка машины	вид удобрения, % д. в.	доза	срок внесения и марка машины
I	Картофель	Компост 1:1	90	IX РОУ-6	Нитрофоска, 11% NPK	0,091	при посадке IV СН-4Б	Аммиачная селитра, 34 % N	0,147	VI КРН-4.2
		Аммиачная селитра, 34 % N	0,176	IV МВУ-6						
		Суперфосфат, 46 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,283	IV МВУ-6						
		Сернокислый калий, 50 % K <sub>2</sub> O, 18 % S	0,360	IV МВУ-6						
II	Ячмень									
III	Озимая пшеница									
IV	Озимая рожь									

Таблица 6 – Годовая потребность предприятия в удобрениях, т ф. м.

№ севооборота и поля	Чередование культур	Площадь, га	Известковые удобрения	Органические удобрения			Минеральные удобрения		
			доломитовая мука	навоз	компост	зеленое	аммиачная селитра	суперфосфат	нитрофоска
I	Картофель	30	-	-	2700	-	9,69	8,49	2,73
II									
III									
IV									
...									
Итого по севообороту:									
Всего по хозяйству:									

При выборе приема, срока внесения и способа заделки удобрений учитываются биологические особенности культуры, тип и гранулометрический состав почвы, свойства самих удобрений. Необходимо, чтобы удобрения находились в зоне развития корневой системы, минимально фиксировались почвой и терялись из нее. Необходимо также учитывать распределение влаги по профилю почвы, так как в пересыхающих и переувлажненных слоях удобрения используются плохо, а при избытке влаги могут быть вымыты.

Оптимальные условия питания для растений создаются, если удобрения вносятся в наиболее влажный слой почвы – на глубину от 10 до 20 см, т. е. в зону размещения основной массы корневой системы. При мелкой заделке удобрения размещаются в поверхностных, пересыхающих слоях почвы и плохо используются растениями. Особенно низкий эффект от такой заделки наблюдается в засушливые годы при недостаточном выпадении осадков.

При заделке удобрений легкими и тяжелыми бородами практически все удобрения попадают в слой почвы 0-5 см, и при недостатке влаги они находятся в пересыхающем верхнем слое почвы и хуже используются растениями.

Срок внесения удобрений может быть следующим: осенью, весной, летом или зимой.

При заделке удобрений культиватором 76 % удобрений попадает в пересыхающий верхний слой почвы и 24 % удобрений попадает в слой почвы 6-12 см.

При заделке удобрений плугом и плугом с предплужником в верхний слой почвы попадает соответственно 23 и 7 % удобрений. Остальная часть

удобрений заделывается в более глубокие слои почвы и может использоваться растениями позже.

*Основное удобрение* вносится вразброс, под вспашку – осенью, или весной – под перепахку зяби или культивацию, в разные слои почвы. Внесение удобрений под вспашку проводится на глубину пахотного слоя (20–22 см), в более глубокие слои почвы, чтобы создать благоприятные условия питания растений на протяжении всего вегетационного периода. Под культивацию удобрения заделываются на глубину 5–6 см (предпосевная культивация) или 10–12 см (глубокая культивация). Растения своей корневой системой осваивают слои почвы постепенно, увеличивая глубину и площадь питания.

До посева вносят навоз или другие органические удобрения и, как правило, бóльшую часть общей дозы минеральных удобрений.

Оптимальный срок внесения подстилочного навоза и компостов на всех почвах, за исключением избыточно увлажненных песчаных, – осенью под зяблевую вспашку. Бесподстилочный навоз рекомендуется вносить либо осенью (на суглинистых и связносупесчаных почвах, подстилаемых моренными суглинками), либо весной (на легких почвах) на глубину 7-17 см, заделывая плугом, дисковыми орудиями или культиватором.

Азотные удобрения под озимые культуры могут применяться при необходимости в небольших дозах осенью, а под яровые культуры вносятся только весной. Поскольку азотные удобрения хорошо растворимы в воде и могут легко мигрировать по почвенному профилю, вносить их следует под культивацию или боронование.

В качестве фосфорных удобрений в настоящее время в основном применяются комплексные удобрения (аммофос, суперфосфат аммонизированный и др.), содержащие азот. С целью снижения потерь азота эти удобрения под культуры ярового срока посева рекомендуют применять весной под культивацию.

Калийные удобрения в связи с переносом срока внесения фосфорных удобрений также преимущественно применяются весной. Под культуры, чувствительные к хлору (гречиху и др.), практикуется осеннее внесение калийных удобрений. На почвах легкого гранулометрического состава, песчаных и супесчаных, подстилаемых песком, а также на торфяно-болотных почвах с неотрегулированным водным режимом калийные удобрения применяются только весной.

*Припосевное* (рядковое) внесение комплексных фосфорсодержащих удобрений при посеве, в рядки и лунки, осуществляется локально комбинированными сеялками.

Дозы удобрений, вносимых при посеве, рассчитаны на действие в течение короткого времени и поэтому невысоки (под зерновые и зернобобовые – 10-20 кг/га  $P_2O_5$ , под картофель, сахарную свеклу, томаты – 20-30 кг/га  $P_2O_5$ ). Для культур, чувствительных к высокой концентрации почвенного раствора

(кукуруза, лен, морковь, лук, огурцы, брюква, турнепс), дозы припосевного удобрения не должны превышать 10 кг/га. Под калиелюбивые культуры (сахарная свекла, картофель, кормовые корнеплоды и др.) при посеве применяются азот, фосфор и калий в виде комплексного удобрения. При этом приеме удобрения всегда вносятся локально.

Для припосевного внесения используются гранулированный простой или двойной суперфосфат, комплексные удобрения: суперфосфат аммонизированный, аммофос, АФК и др. Для припосевного внесения не применяются смеси из однокомпонентных удобрений, так как образуется мажущаяся, трудновысеваемая масса, из которой плохо используются элементы питания.

*Послепосевное внесение удобрений (подкормка).* Послепосевное удобрение применяют в дополнение к основному с целью улучшения питания растений в период максимального потребления элементов питания растениями и улучшения качества продукции, а также в случае, если удобрения внесены в основной прием в недостаточном количестве.

В подкормку удобрения вносятся:

- поверхностно вразброс (азотная подкормка сельскохозяйственных культур, подкормка многолетних трав, сенокосов и пастбищ азотом, фосфором и калием, жидким навозом);
- внутрипочвенно локально в междурядья пропашных и овощных культур;
- в некорневую подкормку – внесение удобрений по вегетирующим растениям в виде растворов. Некорневую подкормку растений удобрениями можно совместить с внесением пестицидов, ретардантов, регуляторов роста растений. Некорневая подкормка применяется и с целью улучшения качества продукции.

Для культур с растянутым вегетационным периодом актуальны подкормки азотными, серосодержащими, комплексными и микроудобрениями, осуществляемые в фазы наибольшей потребности растений в тех или иных элементах питания.

Подкормки азотными удобрениями проводятся на озимых культурах – зерновых и рапсе, овощных и плодово-ягодных культурах, на кукурузе – как вразброс, так и некорневым способом, по вегетирующей поверхности листьев.

Возможна прикорневая подкормка – ранневесенняя подкормка озимых зерновых культур в зону корней с помощью зерновой сеялки с сошниками, небольшими дозами азотных или сложных удобрений – 15–30 кг. д. в./га.

Способ внутрипочвенного внесения удобрений с помощью специальной техники (машин-подкормщиков) позволяет вносить растворы жидких удобрений на определенную глубину как локально – при посеве, так и полосами. Таким образом аммиачную воду и аммиак вносят на глубину 15–18 см, чтобы не улетучился азот. Возможно поверхностное внесение жидких удобрений сплош-



ным способом с одновременной заделкой культиватором (ЖКУ 10–34–0). *Например*, первую подкормку азотными удобрениями озимых – рапса и пшеницы проводят рано весной, поверхностно, вразброс. Вторую подкормку озимой пшеницы азотными удобрениями осуществляют при необходимости, по результатам тканевой диагностики, лучше – путем опрыскивания растений (опрыскиватели ОП-2000, ОПШ-15, Damman, Amazone, Джон Дир). Третью – позднюю некорневую подкормку озимой пшеницы дозой азота 20 кг д. в. /га + 200 л воды – в фазу колошения, с целью повышения содержания клейковины и массы 1000 зерен. В раствор удобрений хорошо добавлять необходимые микроэлементы (при низком и среднем их содержании в почве) и пестициды.

В зависимости от величины планируемой урожайности, общей дозы удобрений возможны различные сочетания приемов внесения удобрений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое годовой план внесения удобрений в севообороте?
2. Что влияет на распределение удобрений в течение вегетационного сезона по сельскохозяйственным культурам?
3. Какие показатели учитывают при составлении годового плана внесения удобрений?
4. Документы, регламентирующие применение удобрений и других средств химизации сельского хозяйства.
5. Что такое баланс элементов питания в земледелии?
6. Расскажите о способах и целесообразных сроках применения агрохимикатов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10.

### Оценка системы применения удобрений в севообороте (4 часа)

**Цель работы:** Научиться проводить агрономическую и энергетическую оценку применения удобрений в севообороте.

**Материалы и оборудование.** Для выполнения работы требуется IBM PC совместимый компьютер и интегрированный пакет прикладных программ MS Office версии не ниже 2010. Материалы и результаты расчетов лабораторных работ 5, 6, 8, 9.

**Задание.** На основании составленной плановой системы удобрений, рассчитанного годового плана внесения удобрений и сводной потребности в средствах химизации (лабораторная работа 9), составленных с учетом рассчитанных норм известковых, органических и минеральных удобрений по культурам севооборота (лабораторные работы 5, 6 и 8), выполнить агрономическую и энергетическую оценку системы применения удобрений. Оценку необходимо провести с помощью использования возможностей прикладных программ MS Office (MS Excel).

#### **Методические указания.**

Количественная оценка (интенсивность) системы применения удобрений показывает уровень химизации сельского хозяйства, количественно выражается в кг д. в./га минеральных и в т/га известковых и органических удобрений. Качественная оценка системы применения удобрений в хозяйстве проводится по трем направлениям: агрономическому, экономическому и энергетическому.

**Агрономическая оценка** включает окупаемость удобрений урожаем, хозяйственный баланс и интенсивность применения удобрений.

**Окупаемость** удобрений (кг продукции, получаемой от внесения 1 кг д. в. NPK) уменьшается с увеличением их норм и запасов доступных форм элементов питания в почве.

**Баланс** показывает, сколько внесено элементов питания, сколько их будет вынесено с урожаем и потеряно из пахотного горизонта. Для оценки рекомендуемых доз удобрений в системе применения на планируемый год в целом по севообороту рассчитывают баланс азота, фосфора и калия на 1 га. Его сущность состоит в сопоставлении прихода и расхода соответствующих питательных элементов. Баланс питательных элементов выражают в абсолютных величинах (кг д.в.) и отношением прихода питательных элементов к их расходу (интенсивность баланса), выражаемом в процентах.

При расчёте баланса питательных веществ учитываем расходную статью (вынос питательных веществ планируемым урожаем) и приходную (поступление элементов питания с органическими и минеральными удобрениями).

Рост плодородия почвы обеспечит только положительный баланс по фосфору, калию, кальцию, сере, микроэлементам, но избыток азота опасен, так как

азот слабо закрепляется в почве, и «лишние» нитраты могут загрязнять окружающую среду.

При расчете баланса допускается  $\pm 10-15\%$  к выносу по азоту и  $-15-20\%$  по калию (в связи с высвобождением элементов питания при выветривании горных пород и минералов). По фосфору отрицательный баланс не допускается. По азоту допускается отрицательный баланс до 11-14 кг/га, по калию – до 21-22 кг/га.

При внесении элементов питания сверх бездефицитного баланса они повышают доступные запасы и могут трансформироваться в почвенно-поглощающем комплексе. Для сдвига содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  на 10 мг/кг почвы в зависимости от типа почвы, ее гранулометрического состава, запасов гумуса, емкости почвенно-поглощающего комплекса, степени насыщенности этими элементами затрачивается от 30 до 120 кг/га действующего вещества соответствующих удобрений. Это дает возможность прогнозировать изменения плодородия почв.

В таблице 1 приведен пример расчета баланса питательных веществ.

Таблица 1 – Баланс питательных веществ, кг д. в. /га

Номер поля	Севооборот, культура	Площадь, га	Внесено с органическими и минеральными удобрениями			Вынесено с урожаем			Баланс ( $\pm$ )		
			N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$
1. I	Люпин, зерно	100	50	25	55	47	20	54	+3	+5	+1
1. II	Картофель, клубни	40	141	53	275	138	41	273	+3	+12	+2
1. III	Ячмень, зерно	60	100	50	120	95	52	120	+5	-2	0
1. IV	Оз. пшеница, зерно:	100	119	50	85	122	46	83	-3	+4	+2
в среднем по первому севообороту		300	95	42	107	94	38	106	+1	+4	+1
2. I											
в среднем по второму севообороту		400	105	51	120	101	56	117	+4	-4	+3
в среднем по хозяйству		700	101	47	114	98	48	112	+3	0	+2

В таблице 1 баланс азота и калия по севообороту – слабоположительный, фосфора – нулевой. Значит, плодородие почвы будет оставаться на исходном уровне.

Для расчета внесения, выноса и баланса элементов питания в среднем по севообороту количество каждого из элементов, внесенных под культуру, умножают на площадь, занятую данной культурой, произведения, полученные под каждую

культуру, суммируют, и сумму делят на площадь севооборота. Например, внесено азота в среднем по с/о:  $N, \text{ кг д. в./га} = (50 \text{ кг д. в./га} \times 100 \text{ га} + 141 \text{ кг д. в./га} \times 40 \text{ га} + 100 \text{ кг д. в./га} \times 60 \text{ га} + 119 \text{ кг д. в./га} \times 100 \text{ га}) : 300 \text{ га} = 95 \text{ кг д. в./га}$ . Аналогичные действия проводят по каждому из элементов (таблица 1).

**Экономическая оценка** (эффективность) системы применения удобрений рассматривается как результат действия удобрений, выраженный в стоимостных показателях. Даже приблизительные расчеты показывают, насколько выгодно применять удобрения. Расчеты условного чистого дохода и рентабельности проводятся исходя из складывающихся затрат, полученной прибавки урожайности, цен реализации, площадей возделываемых культур и приводятся в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Плановая экономическая эффективность применения удобрений

Наименование севооборота, поля или угодий, культуры	Внесено удобрений на 1 га (орг. - т, минер.- кг)			Затраты на внесение удобрений, включая стоимость, руб./га	Ожидаемая прибавка урожайности от удобрения		Затраты на уборку и обработку дополнительного урожая, руб./га	Всего затрат, с учетом накладных расходов (22 %), руб./га (гр. 9 = 5 + 8)	Цена продукции, руб./т	Стоимость всей дополнительной продукции, полученной за счет удобрений, руб.	Условный чистый доход, полученный за счет удобрений, руб. (гр. 12 = 11 – 9)	Рентабельность (чистый доход на 1 руб. затрат на удобрения), 100 % (гр. 13 = 12 / 9 · 100)
	название	в физической массе, т	НРК, кг д. в.		от 1 кг* НРК, кг	т/га						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Учитывая нестабильность цен на удобрения, сельскохозяйственную технику и растениеводческую продукцию, при денежной оценке можно сделать лишь краткосрочные выводы по экономической эффективности удобрений. Более долгосрочную и объективную оценку дадут расчеты **энергетической эффективности** применения удобрений.

В этом случае все затраты и стоимость прибавки урожая переводятся не в рубли, а в энергетический эквивалент – количество энергии в мегаджоулях, расходуемой на производство минеральных и органических удобрений и работу с ними, технологические операции по производству урожая данной культуры.

О положительной оценке существующей системы применения удобрений в севообороте можно говорить тогда, когда количество энергии, заключенное в

прибавке урожая, больше, чем все затраты, пошедшие на получение такой прибавки. В эти затраты входят затраты энергии, связанные с производством, перевозкой, хранением и внесением удобрений, а также количество энергии, затраченное на производство и доработку прибавки урожая. Только в таком случае можно говорить о целесообразности анализируемой системы применения удобрений. Расчеты ведутся на основании нормативных материалов научно-исследовательских учреждений и заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Энергетическая эффективность применения системы удобрений

Но- мер поля	Севообо- рот, куль- тура	Суммар- ное коли- чество энергии в прибавке урожая ( $\mathcal{E}_n$ ), МДж/га	Энергетические затраты				Дополнительная энергия, МДж/га (3 – 7)	Энергетический коэффициент ( $K_3$ ), ед. (3:7)
			$\mathcal{E}_y$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_o$ ( $\Sigma$ 4,5,6)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Всего по хозяйству								

Расчет энергетической эффективности применения удобрений проводится по формулам. Высчитывается накопление энергии сельскохозяйственной продукции (в прибавке урожая от удобрений) по формуле (1):

$$\mathcal{E}_n = Y_n - \mathcal{E}_m \quad (1),$$

где  $\mathcal{E}_n$  – энергия в прибавке урожая, МДж/га;  $Y_n$  – прибавка урожая за счет внесения удобрений, т/га;  $\mathcal{E}_m$  – содержание энергии в 1 т продукции, МДж (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание энергии в растениеводческой продукции ( $\mathcal{E}_T$ ), МДж/т

Культура	Вид продукции	В стандартной продукции
Пшеница озимая	Зерно	16450
	Солома	14400
Рожь озимая	Зерно	16760
	Солома	14320
Ячмень	Зерно	16450
	Солома	13760
Овес	Зерно	16170
	Солома	14210
Люпин	Зерно	18040
	Солома	15840
Горох	Зерно	16340
	Солома	12690
Вика	Зерно	16340
	Солома	13590
Гречиха	Зерно	16670

Культура	Вид продукции	В стандартной продукции
Лен-долгунец	Волокно	18010
	Семена	21270
Картофель	Клубни	3800
Сахарная свекла	Корнеплоды	4390
	Ботва	1600
Кормовые корнеплоды	Корнеплоды	2090
	Ботва	1620
Кукуруза	Зерно	15140
	Зеленая масса	3740
Многолетние травы	Зеленая масса	3670
	Сено	15460
Однолетние травы	Зеленая масса	2760
	Сено	15500

Общие энергозатраты включают затраты на производство, транспортировку, хранение и внесение удобрений, на производство и доработку прибавки урожая от удобрений и рассчитываются по формуле (2):

$$\mathcal{E}_o = \mathcal{E}_y + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad (2),$$

где  $\mathcal{E}_o$  – общие затраты энергии, МДж/га;  $\mathcal{E}_y$  – энергетические затраты на производство удобрений, МДж/га (таблица 5);  $\mathcal{E}_1$  – энергетические затраты на погрузку, транспортировку, хранение и внесение удобрений, МДж/га;  $\mathcal{E}_2$  – энергетические затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет удобрений, МДж/га.

Таблица 5 – Энергетические затраты на производство минеральных, известковых и органических удобрений ( $\mathcal{E}_y$ ), МДж/т

Виды и формы удобрений	Содержание действующего вещества, %	Энергетический эквивалент физической массы
<b>Азотные удобрения</b>		
Сульфат аммония	20,5	16400
Аммиачная селитра	34,5	27600
Натриевая селитра	16,0	12800
Калиевая селитра	17,0	13600
Мочевина	46,0	36800
КАС	28,0	22400
Аммиачная вода	20,5	16400
Аммиак жидкий	82,0	65000
<b>Фосфорные удобрения</b>		
Суперфосфат гранулированный	20,0	2800
Суперфосфат двойной	46,0	6300
Суперфосфат аммонизированный	N – 8,0; P – 33,0	21100
Фосфоритная мука	19,0	2600
<b>Калийные удобрения</b>		
Хлористый калий	60,0	5300
Калийная соль	40,0	3500
Сульфат калия	48,0	4200

Виды и формы удобрений	Содержание действующего вещества, %	Энергетический эквивалент физической массы
<b>Комплексные удобрения</b>		
Нитрофоска	N – 12,0; P – 12,0; K – 12,0	18500
Нитроаммофоска	N – 17; P – 17,0; K – 17,0	26200
Аммофосфат	N – 7,0; P – 47,0	27800
Аммофос	N – 12,0; P – 50,0	31900
Азофоска	N – 16,0; P – 16,0; K – 16,0	24700
ЖКУ	N – 10,0; P – 34,0	22700
Кристаллин	N – 20,0; P – 16,0; K – 20,0	28800
<b>Микроудобрения</b>		
Борные	—	12500 – 18800
Цинковые	—	2500 – 6900
<b>Известковые удобрения</b>		
Доломитовая мука	95,0	3600
<b>Органические удобрения</b>		
Навоз на соломенной подстилке	–	112
Подстилочный навоз на торфяной подстилке (соотношение торфа к экскрементам 1:3)		222
Торфонавозные компосты (соотношение торфа к навозу 1:3)		283
Торфосоломенно-навозные компосты (на 1 т полужидкого навоза 50 кг соломы, 250 кг торфокрошки)		286
Усредненные затраты на хранение		6,2

Таблица 6 – Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение минеральных удобрений в зависимости от доз и дальности перевозки ( $\mathcal{E}_1$ ), МДж/га

Расстояние, км	Дозы минеральных удобрений, т/га физической массы									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,0	223	238	252	266	281	395	310	323	338	360
2,0	226	244	263	281	300	318	337	355	374	392
3,0	229	251	273	294	316	338	359	381	403	424
4,0	232	257	282	307	332	357	382	406	431	456
5,0	236	264	292	320	348	376	404	432	460	488
6,0	239	270	300	332	364	395	424	458	490	520
7,0	242	276	311	345	380	414	449	483	518	552
8,0	245	283	320	358	394	433	472	509	548	584
9,0	248	289	330	371	412	452	493	534	575	616
10,0	252	296	338	384	424	472	515	560	602	648

Энергетические затраты на погрузку, транспортировку, хранение и внесение удобрений ( $\mathcal{E}_1$ ) следует выбрать из данных таблиц 6-9 в зависимости от нормы удобрений и расстояния их перевозки на пересечении соответствующих

строк и граф. Если в севообороте или под культуру вносятся известковые, органические и минеральные удобрения, эти затраты суммируются.

Энергетические затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения удобрения ( $\mathcal{E}_2$ ) находят умножением планируемой прибавки урожая на норматив энергозатрат (таблица 10).

Таблица 7 – Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение твердых органических удобрений ( $\mathcal{E}_1$ ), МДж/га

Расстояние, км	Доза внесения, т/га					
	Прямоточная технология			Перевалочная технология		
	20	40	60	20	40	60
1,0	109	102	96	–	–	–
2,0	140	134	128	220	209	198
3,0	172	165	159	246	234	223
4,0	204	195	190	272	258	249
5,0	235	227	221	298	285	274
6,0	266	260	253	323	312	300
7,0	298	292	284	350	338	326
8,0	328	324	315	374	364	351
9,0	359	355	346	400	390	377
10,0	394	385	379	425	417	402
11,0	425	416	411	449	440	425

Таблица 8 – Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение жидких органических удобрений ( $\mathcal{E}_1$ ), МДж/га

Расстояние, км	Доза внесения, т/га		
	60	80	100
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1,0	74	70	68
2,0	103	99	97
3,0	130	127	124
4,0	158	155	153
5,0	187	184	181
6,0	215	212	209
7,0	244	241	238
8,0	273	269	266
9,0	301	297	295
10,0	330	326	323
11,0	358	355	352
12,0	386	383	380
13,0	415	411	409
14,0	443	440	437
15,0	472	468	466



Таблица 9 – Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение известковых удобрений ( $\mathcal{E}_1$ ), МДж/т

Расстояние, км	Прямоточная технология				Перегрузочная технология			
	Дозы внесения, т/га							
	3,5	4,5	5,5	6,5	3,5	4,5	5,5	6,5
5	106	104	102	100	181	159	153	145
10	186	181	176	174	237	216	204	196
15	259	251	245	240	284	259	251	240
20	335	324	315	299	329	300	291	279
25	411	396	385	374	369	336	326	312
30	485	465	451	440	401	364	353	338
35	–	–	–	–	427	386	375	358
40	–	–	–	–	450	405	393	374

Таблица 10 – Энергетические затраты на уборку, подработку и реализацию прибавки урожая, полученную за счет применения удобрений ( $\mathcal{E}_2$ ), МДж/т

Культуры	Продукция	Урожайность, т/га	Энергозатраты, МДж/т
1	2	3	4
Озимая рожь	Зерно	3,0 – 4,0	3280
		4,5 – 5,5	2870
Ячмень яровой	Зерно	3,0 – 4,0	2930
		5,0 – 6,0	2700
Рапс	Зерно	1,5 – 2,5	4790
Картофель	Клубни	15,0 – 25,0	790
Сахарная свекла	Корнеплод	25,0 – 35,0	670
Кормовые корнеплоды	Корнеплод	60,0 – 80,0	400
Лен-долгунец	Солома в снопах	3,0 – 4,0	1930
	Треста в снопах	2,5 – 3,5	2540
	Треста в рулонах	2,5 – 3,5	2180
	Семена	0,35 – 0,45	25760
Кукуруза	Силос	30,0 – 40,0	350
	Зеленая масса	15,0 – 17,0	450
		17,0 – 25,0	420
Многолетние травы	Сенаж	6,0 – 8,0	880
		8,0 – 12,0	650
	Сено прессованное	3,0 – 4,0	1000
		4,0 – 6,0	930
Сено рассыпное	3,0 – 5,0	1050	
Однолетние травы	Зеленая масса	16,0 – 20,0	390
Озимая рожь	Силос	16,0 – 20,0	510
Смеси трав (поукосно)	Зеленая масса	20,0 – 25,0	440

Энергетические затраты на производство гектарной нормы удобрений рассчитываются по формуле (3):

$$\mathcal{E}_y = (H_N * D_{yN}) + (H_p * D_{yp}) + (H_k * D_{yk}) + (H_{opz} * D_{opz}) + (H_u * D_{yu}), \quad (3)$$

где  $\text{Эу}$  – энергетические затраты на производство гектарной нормы удобрений вашей системы, МДж/га;  $H_N, H_p, H_k, H_{орг}, H_u$  – фактическая норма внесения азотных, фосфорных, калийных, органических и известковых удобрений физической массы, т/га;  $D_{yN}, D_{yp}, D_{yk}, D_{yорг}, D_u$  – энергетические затраты на производство тонны удобрений, МДж (таблица 5).

Все результаты расчетов энергетической эффективности системы применения удобрений выгодны, если энергетический коэффициент ( $K_3$ ) больше единицы, при этом воспроизводится с прибавкой урожая энергии больше, чем затрачивается на ее выращивание.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие направления оценки севооборотов вы знаете?
2. Что включает агрономическая оценка применения удобрений в севообороте?
3. Как проводится энергетическая оценка применения удобрений в севообороте?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11.

### Ионометрический экспресс-метод определения нитратного азота

**Цель работы:** Научиться отбирать пробы, приготавливать необходимые растворы и освоить методику определения нитратного азота в почве.

**Материалы и оборудование.** Почвенные образцы; набор сит; весы; конические колбы на 100-150 мл; пипетка на 50 мл; фарфоровые ступки; стеклянные палочки; шпатели; фильтровальная бумага; химические стаканы на 200-250 мл; дистиллированная вода; 0,1 М раствор  $KNO_3$ , 1 %-ный раствор алюмокалиевых квасцов; 0,05 %-ный раствор сернокислого калия; стандартные растворы; электроды.

**Сущность метода.** Заключается в извлечении нитратов 1 %-ным раствором алюмокалиевых квасцов или 0,05 %-ным раствором  $K_2SO_4$  при соотношении почвы к раствору 1:2,5 и последующем определении нитратов в вытяжке с помощью ионоселективного электрода. Метод используется для определения нитратов во всех почвах, кроме засоленных, в которых массовая доля иона хлорида в 50 раз и более превышает массовую долю нитратов.

**Методика отбора проб.** Пробы почвы анализируют в состоянии естественной влажности, но не более чем через 5 ч после их отбора, или доводят до воздушно-сухого состояния путем высушивания при температуре до 40 °С. Допускается хранение проб в состоянии естественной влажности не более двух суток при температуре 1–5 °С, после чего они должны быть проанализированы или высушены.

Пробу почвы в воздушно-сухом состоянии берут на анализ из коробки шпателем или ложкой, предварительно перемешав почву на всю глубину коробки. Из пакетов пробу высыпают на ровную поверхность, тщательно перемешивают, распределяют слоем не более 1 см и отбирают не менее чем из пяти точек.

Пробы в состоянии естественной влажности тщательно перемешивают, распределяют слоем толщиной не более 1 см на ровной поверхности и отбирают не менее чем из десяти точек пробу для анализа.

#### Методика приготовления растворов.

1. Алюмокалиевые квасцы  $Al(SO_4)_3 \times K_2SO_2 \times 24H_2O$ , ч. д. а. алюмокалиевые квасцы массой 10 г взвешивают с погрешностью не более 0,1 г, растворяют в дистиллированной воде и доводят объем раствора до 1000 см<sup>3</sup>.

2. Стандартные растворы. 0,1 М раствор  $KNO_3$  : 10,11 г калия азотнокислого перекристаллизованного, высушенного при температуре 100–105 °С до постоянной массы, взвешивают с погрешностью не более 0,01 г, растворяют в 1 %-ном растворе алюмокалиевых квасцов в мерной колбе вместимостью 1000 см<sup>3</sup> и доводят объем раствора до метки. Из этого раствора последовательным десятикратным разбавлением экстрагирующим раствором готовят стан-

дартные растворы  $KNO_3$  с концентрацией 0,01 М, 0,001 М, 0,0001 М. Полученные стандартные растворы используют для построения калибровочного графика.

**Ход анализа.** Пробу сухой почвы, просеянную через сито с отверстиями 1-2 мм, или сырой почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 5 мм, массой 20 г помещают в банки или конические колбы вместимостью 100 мл, добавляют 50 мл 1 %-ного раствора алюмокалиевых квасцов или 0,05 %-ного раствора сернокислого калия и перемешивают в течение 3 мин. В полученной суспензии нитратным ионоселективным электродом измеряют активность иона нитрата. При определении нитратов в почве с естественной влажностью одновременно отбирают навеску массой 5-10 г для определения влажности почвы.

Измерение активности иона нитрата в пробе можно проводить в  $pNO_3$  или делать замеры в «МВ».

$$pNO_3 = -\lg aNO_3,$$

где  $aNO_3$  – активность нитратного иона.

Следует помнить, что понятия «активность» и «концентрация» иона не тождественны, хотя и тесно связаны.

$$a = c \cdot f,$$

где  $a$  – активность иона;  $c$  – концентрация иона;  $f$  – средний коэффициент активности.

В бесконечно разбавленных растворах, когда концентрация стремится к нулю,  $f = 1$ , а  $a = c$ .

Таким образом, мы определяем не концентрацию иона, но и его активность. На практике этим моментом обычно пренебрегают. В целом ионоселективный метод является достаточно точным и благодаря использованию несложного оборудования и быстрой выполнения анализов получил широкое распространение в агрохимических исследованиях.

**Вычисление результатов.** Содержание нитратного азота в почве (мг/кг) вычисляют по формуле:

$$N - NO_3 = 10^{-pNO_3} \times 14 \frac{V}{m} \times 10^3,$$

где 14 – атомная масса азота, г;  $V$  – объем экстрагирующего раствора,  $cm^3$ ;  $m$  – масса пробы почвы, г;  $pNO_3$  – отрицательный логарифм концентрации нитрат ионов.

Преобразование формулы позволило упростить расчеты. При соотношении почвы и раствора 1 : 2,5 содержание  $N-NO_3$  мг/кг почвы =  $Antilog(4,54 - pNO_3)$ .

При анализе проб в состоянии естественной влажности результат анализа пересчитывают на сухое вещество, умножая на коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$ , учитывающие массовую долю влаги в почве и увеличение объема экстрагирующего раствора, взаимодействующего с анализируемой пробой, за счет содержащейся

в почве влаги, которые вычисляют по формулам:

$$K_1 = \frac{100}{100 - W}; \quad K_2 = \frac{100}{100 - \frac{W}{2,5}} \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{250}{250 - W},$$

где  $W$  – массовая доля влаги в анализируемой почве; 2,5 – соотношение массы пробы почвы и объема экстрагирующего раствора.

Массовую долю азота нитратов в пересчете на сухую почву ( $X_1$ ) вычисляют по формуле:

$$X_1 = XK_1K_2,$$

где  $X$  – массовая доля азота нитратов во влажной почве, мг/кг.

Содержание нитратного азота можно определить также по таблице 1.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что способствует накоплению нитратов в растениеводческой продукции?
2. Какие методы анализа применяются для определения содержания нитратов?
3. В каких единицах измеряется концентрация нитратов?

Таблица 1 – Вспомогательная таблица по расчету азота нитратов (мг/кг почвы) при соотношении почвы и раствора 1 : 2,5 на основе формулы  $N-NO_3 \text{ мг/кг} = \text{Antilog}(4,54 - pNO_3)$

pNO <sub>3</sub>	мг/кг	pNO <sub>3</sub>	мг/кг	pNO <sub>3</sub>	мг/кг	pNO <sub>3</sub>	мг/кг	pNO <sub>3</sub>	мг/кг	pNO <sub>3</sub>	мг/кг
2,55	97,7	2,61	85,1	2,67	74,1	2,73	64,6	2,79	56,2	2,85	49,0
2,56	95,5	2,62	83,2	2,68	72,4	2,74	63,1	2,80	55,0	2,86	47,9
2,57	93,3	2,63	81,2	2,69	70,8	2,75	61,7	2,81	53,7	2,87	46,8
2,58	91,2	2,64	79,4	2,70	69,2	2,76	60,3	2,82	52,5	2,88	45,7
2,59	89,1	2,65	77,6	2,71	67,6	2,77	58,9	2,83	51,3	2,89	44,7
2,60	87,1	2,66	75,9	2,72	66,1	2,78	57,5	2,84	50,1	2,9	43,6
2,91	42,7	3,15	24,6	-	-	3,63	8,1	3,88	4,6	4,13	2,6
2,92	41,7	3,16	24,0	3,39	14,1	3,64	7,9	3,89	4,5	4,14	2,5
2,93	40,7	3,17	23,4	3,40	13,8	3,65	7,8	3,90	4,4	4,15	2,5
2,94	39,8	3,18	22,9	3,41	13,5	3,66	7,6	3,91	4,3	4,16	2,4
2,95	38,9	3,19	22,4	3,42	13,2	3,67	7,4	3,92	4,2	4,17	2,3
2,96	38,0	3,20	21,9	3,43	12,9	3,68	7,2	3,93	4,1	4,18	2,3
2,97	37,2	3,21	21,4	3,44	12,6	3,69	7,1	3,94	4,0	4,19	2,2
2,98	36,2	3,22	20,9	3,45	12,3	3,70	6,9	3,95	3,9	4,20	2,2
2,99	35,5	3,23	20,4	3,46	12,0	3,71	6,8	3,96	3,8	4,21	2,1
3,00	34,7	3,24	20,0	3,47	11,8	3,72	6,6	3,97	3,7	4,22	2,1
3,01	33,9	3,25	19,5	3,48	11,5	3,73	6,5	3,98	3,6	4,23	2,0
3,02	33,1	3,26	19,1	3,49	11,2	3,74	6,3	3,99	3,5	4,24	2,0
3,03	32,4	3,27	18,6	3,50	11,0	3,75	6,2	4,00	3,5	4,25	1,9
3,04	31,6	3,28	18,2	3,51	10,7	3,76	6,0	4,01	3,4	4,26	1,9
3,05	30,9	3,29	17,8	3,52	10,5	3,77	5,9	4,02	3,3	4,27	1,9
3,06	30,2	3,30	17,4	3,53	10,2	3,78	5,8	4,03	3,2	4,28	1,8
3,07	29,5	3,31	17,0	3,54	10,0	3,79	5,6	4,04	3,2	4,29	1,8
3,08	28,8	3,32	16,6	3,55	9,8	3,80	5,5	4,05	3,1	4,30	1,7
3,09	28,2	3,33	16,2	3,56	9,6	3,81	5,4	4,06	3,0	-	-
3,10	27,5	3,34	15,9	3,57	9,3	3,82	5,2	4,07	3,0	-	-
3,11	26,9	3,35	15,5	3,58	9,1	3,83	5,1	4,08	2,9	-	-
-	-	3,36	15,1	3,59	8,9	3,84	5,0	4,09	2,8	-	-
3,12	26,3	3,37	14,8	3,60	8,7	3,85	4,9	4,10	2,8	-	-
3,13	25,7	3,38	14,5	3,61	8,5	3,86	4,8	4,11	2,7	-	-
3,14	25,1	-	-	3,62	8,3	3,87	4,7	4,12	2,6	-	-

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12.

### Определение качества воды

**Цель работы:** Научиться проводить качественные анализы на содержание различных ионов в воде.

**Материалы и оборудование.** Пробы воды; чистые пробирки; газовая горелка; 1 %-ный раствор азотнокислого серебра; 10 %-ный раствор хлористого бария; 1 %-ный спиртовой раствор фенолфталеина.

**Задание.** Определить качество воды. Дать заключение о возможности употребления в пищевых целях.

#### Ход работы.

Студент определяет цвет воды, помещая колбу перед отбеленным листом бумаги. Глазомерно определяет наличие взвеси в пробе. Определяется запах пробы, для лучшего восприятия пробирку с водой слегка нагревают над горелкой. От каждой пробы в три пробирки необходимо налить примерно по 5-10 мл. В первую пробирку добавить 4 капли раствора азотнокислого серебра. Примерное содержание ионов хлора определяют по характеру образовавшийся мути (таблица 1).

Таблица 1 – Реакция азотнокислого серебра с хлорид-ионами

Характер осадка или мути:	Количество хлорид-ионов, мг/л
Слабая муть	до 10
Сильная муть	10-50
Постепенно оседающие хлопья	50-100
Рыхлый осадок	более 100

Во вторую пробирку добавляют 4 капли раствора хлористого бария. Примерное содержание сульфат-ионов определяют по характеру образующейся белой мути (таблица 2).

Таблица 2 – Реакция хлористого бария с сульфат-ионами

Характер осадка или мути	Содержание сульфат-ионов, мг/л
Слабая муть, появляется через 5 минут	до 10
Слабая муть, появляется через 5 секунд	10-100
Сильная муть (цвет молока), затем осадок	100-500
Быстро осаждающийся осадок	более 500

В третью пробирку добавляют 1 каплю фенолфталеина. Появление розовой окраски указывает на присутствие в воде ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ .

По результатам проведенных анализов заполняется таблица 3, делается вывод, какая проба воды пригодна и непригодна для употребления.

Таблица 3 – Результаты определений

№ пробы	Цвет	Запах	Хлорид-ионы	Сульфат-ионы	Карбонат-ионы

**Вопросы для самоконтроля**

1. Опасность применения воды, насыщенной солями, для орошения.
2. Какие ионы определяют жёсткость воды?



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В. И. Панасин, М. И. Вихман, В. В. Долина [и др.]. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. – 315 с.
2. Минеев, В. Г. Агрохимия: учеб. / В. Г. Минеев. – Москва: МГУ: КолосС, 2004. – 720 с.
3. Ефимов, В. Н. Система удобрения: учеб. / В. Н. Ефимов И. Н. Донских, В. П. Царенко. – Москва: КолосС, 2002. – 320 с.
4. Егоров, В. В. Экологическая химия: учеб. пособие / В. В. Егоров. – Санкт-Петербург: Лань, 2009. – 181 с.
5. Юсов, А. И. Методы агрохимических исследований: учеб. пособие / А. И. Юсов, О. М. Бедарева, Т. Н. Троян. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 112 с.
6. Брысозовский, И. И. Справочник агронома по химизации сельского хозяйства: учеб. пособие / И. И. Брысозовский, Л. М. Григорович, В. И. Панасин. – Калининград: КГТУ, 2006. – 280 с.
7. Брысозовский, И. И. Справочник агронома по химизации сельского хозяйства / И. И. Брысозовский, Л. М. Григорович, В. И. Панасин. – 2-е изд., доп. – Калининград: ИП Мишуткина И. В., 2008. – 351 с.
8. Практикум по агрохимии / под ред. В. В. Кидина. – Москва: КолосС, 2008. – 598 с.
9. Агрохимия / под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: Ураджай, 2001. – 488 с.
10. Основы энергосбережения в системе применения удобрений: метод. указания / сост.: С. П. Кукреш, И. Р. Вильдфлуш, Т. Ф. Персикова. – Горки: Белорусская гос. сельхоз. академия, 2008. – 48 с.
11. Донских, И. Н. Курсовое и дипломное проектирование по системе применения удобрений / И. Н. Донских. – Ленинград: Агропромиздат, 1989. – 144 с.
12. Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / под ред. И. П. Дерюгина. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 222 с.
13. Кореньков, Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д. А. Кореньков. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 280 с.
14. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин. – Москва: Колос, 1982. – 574 с.
15. Смольский, Е. В. Системы удобрения в агроландшафтах: учеб. пособие / Е. В. Смольский. – Брянск: Брянский ГАУ, 2019. – 116 с.
16. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 584 с.

Учебное издание

С. А. Терещенко

АГРОХИМИЯ

*Редактор Э. С. Круглова*

Подписано в печать 05.12.2024 г. Формат 60x84 (1/16).  
Уч.-изд. л. 5,2. Печ. л. 4,6. Тираж 27 экз. Заказ № 95

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1