

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт биологии, экологии, почвоведения,
сельского и лесного хозяйства
(Биологический институт)
Кафедра почвоведения и экологии почв

А.В. Родикова, С.П. Кулижский

**ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**

Практикум

Ответственный редактор – А.В. Родикова

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2019

УДК 631.4:504.1

ББК 40.3

Р603

Родикова А.В., Кулижский С.П.

Р603 Экология почв сельскохозяйственных угодий : практикум / отв. ред. А.В. Родикова. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. – 102 с.

ISBN 978-5-94621-783-5

Практикум ориентирован на закрепление теоретического материала лекционных занятий, приобретение навыков и умений в области знаний об экологии почв, используемых в сельском хозяйстве. Содержит практические задания и упражнения, способствующие углублению понимания причин возникновения проблем при создании и эксплуатации агроэкосистем.

Для студентов бакалавриата с целью формирования комплексной картины экологического состояния почв, а также обеспечения аудиторной и самостоятельной работы, подготовки к аттестации и, в целом, – будущей профессиональной деятельности.

УДК 631.4:504.1

ББК 40.3

Рецензенты:

д-р биол. наук, проф. *В.П. Середина*
канд. биол. наук, доц. *Н.Н. Николаева*

ISBN 978-5-94621-783-5

© Родикова А.В., Кулижский С.П., 2019

© Томский государственный университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Практическая работа № 1. Экологическое нормирование	6
Практическая работа № 2. Тяжелые металлы в почвах сельскохозяйственных угодий, их влияние на здоровье человека	12
Удобрения в агроэкосистемах	23
Практическая работа № 3. Минеральные удобрения: расчет доз внесения	23
Практическая работа № 4. Обоснование доз извести для кислых почв	31
Засоление почв	40
Практическая работа № 5. Солевой профиль	40
Практическая работа № 6. Степень и химизм засоления, запас водорастворимых солей в почве	47
Практическая работа № 7. Загрязнение почв пестицидами	55
Практическая работа № 8. Оценка загрязнения нефтью водоемов, используемых для орошения сельскохозяйственных угодий	63
Практическая работа № 9. Загрязнение агроэкосистем радионуклидами	68
Практическая работа № 10. Оценка степени деградации почв	73
Используемые источники	81
Приложение А. Содержание питательных веществ различных видов удобрений	85

Таблица 1. Азотные удобрения	85
Таблица 2. Фосфорные водорастворимые удобрения	86
Таблица 3 Фосфорные водонерастворимые удобрения	87
Таблица 4 Калийные удобрения	87
Таблица 5 Комплексные удобрения	88
Приложение В. Тяжелые металлы в минеральных удобрениях	90
Таблица 1. Среднее содержание тяжелых металлов в азотных, калийных, сложных и комплексных удобрениях	90
Таблица 2. Среднее содержание тяжелых металлов в фосфорных удобрениях	92
Приложение С. Номенклатура кислот и средних солей	93
Приложение Д. Допустимые концентрации веществ в почвах	95
Таблица 1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых химических веществ в почве	95
Таблица 2. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) некоторых химических веществ в почве	98
Приложение Е. Классы опасности химических веществ	100

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное издание призвано обеспечить практическую деятельность обучающихся в рамках дисциплины «Агроэкология». Целью освоения практических работ является формирование представлений о необходимости комплексного подхода в решении многочисленных проблем, связанных с эксплуатацией и охраной почв, используемых в сельском хозяйстве. Сведения о состоянии земель являются незаменимыми при решении вопросов управления данным видом ресурсов, обеспечения продуктовой безопасности, охраны окружающей среды.

Пособие способствует решению задач формирования следующих профессиональных компетенций студентов-почвоведов, обучающихся по направлению подготовки 06.03.02 «Почвоведение» (уровень бакалавриата):

ПК–4 Готовность использовать специализированные знания в области почвоведения на основе освоения профильных дисциплин в рамках программы бакалавриата.

ПК–5 Готовность применять специализированные знания фундаментальных разделов физики, химии, экологии для освоения физических, химических и экологических основ почвоведения.

Практикум дополняется приложениями, содержащими необходимую для выполнения заданий информацию.

Практическая работа № 1 **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ**

Цель: ознакомиться с базовыми нормативно-правовыми документами, обеспечивающими процедуру оценки антропогенного воздействия на сельскохозяйственные угодья.

Справочно-информационный материал

Экологическое нормирование (ЭН) – разработка и апробация научно обоснованных критериев и норм предельно допустимого вредного воздействия на природную среду и человека, а также норм и правил природопользования на основе общих методологических подходов, комплексного изучения и анализа экологических возможностей экосистем и их отдельных компонентов. В целом, система ЭН имеет достаточно сложное строение (рис. 1–1). Вопросам государственного нормирования плодородия земель сельскохозяйственного назначения, которое заключается в установлении стандартов, норм, нормативов, правил, регламентов в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, посвящена отдельная статья 14 в ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».

Цель ЭН: выявление уровня антропогенных воздействий, при которых не происходит структурно-функциональных перестроек экосистем, ландшафтов.

Механизмы ЭН: лимитирование, лицензирование, сертификация, паспортизация.

Экологический норматив – обязательное для субъектов управления (т.е. законодательно установленное) ограничение экологических нагрузок.

Некоторые элементы нормирования качества окружающей природной среды и ее компонентов:

ВСВ и ВСС – временно согласованные выбросы и стоки; предельные массы загрязняющих веществ, официально разре-

шенных данному предприятию к сбросу в окружающую среду в течение определенного периода времени.

ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия; временный гигиенический норматив, вводимый в случае, если величина ПДК в различных средах не установлена; срок действия примерно 2–3 года.

ОДУ – ориентировочно допустимый уровень; гигиенический норматив, позволяющий дифференцированно подходить к оценке эколого-гигиенического состояния вод питьевого и культурно-бытового назначения. Утверждается на три года.

ПДВ – предельно допустимый выброс; масса вещества в отходящих газах, максимально допустимая к выбросу в атмосферу в единицу времени.

ПДД – предельно допустимая доза вещества или воздействия; максимальное количество вредного вещества, проникновение которого в организм еще не оказывает губительного воздействия.

ПДК – предельно допустимая концентрация; количество вредного вещества в окружающей среде, при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных последствий у его потомства. ПДК устанавливаются для водной или воздушной среды, почв, продуктов питания.

ОДК – ориентировочно допустимые концентрации; гигиенический норматив, позволяющий (в отличие от ПДК) дифференцированно подходить к оценке эколого-гигиенического состояния почв в зависимости от их свойств. Утверждаются главным санитарным врачом РФ и действуют впредь до отмены либо принятия новых нормативов взамен существующих.

ПДС – предельно допустимый сброс; масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени.

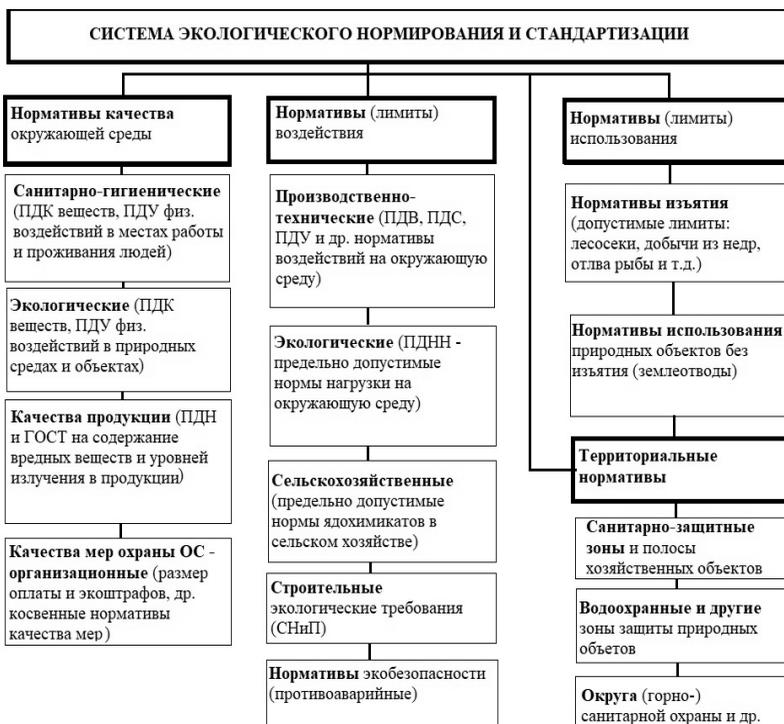


Рис. 1-1. Система экологических нормативов и стандартов
(Макаров, 2013)

ПДТН – предельно допустимая техногенная нагрузка, предельно допустимая экологическая нагрузка; величина максимального нарушения естественной среды территории в результате изъятия природных ресурсов и загрязнения среды, не выходящая за пределы экологической техноёмкости территории.

Некоторые элементы нормативно-правового обеспечения экологического нормирования в РФ:

ГОСТ – государственный стандарт.

ГН – гигиенические нормы.

МУ – методические указания.

ОСТ – отраслевой стандарт.

РСТ – республиканский стандарт.

СанПиН – санитарные правила и нормы; нормативные правовые акты, устанавливающие санитарно-эпидемиологические требования, несоблюдение которых создает угрозу жизни или здоровью человека, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний.

СНиП – строительные нормы и правила; свод нормативных документов в области строительства, принятый органами исполнительной власти и содержащий обязательные требования.

СП – свод правил.

СТП – стандарты предприятий.

СТ ИСО (ISO) – международные стандарты (International Organization for Standardization).

Задание

1. Ознакомиться с ресурсами сети Интернет, содержащими нормативно-правовую документацию, их возможностями, наполнением, условиями доступа.

Рекомендуемые базы сети Интернет:

– «Гарант.ру». URL: <http://www.garant.ru/>

– «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/>

– «ПравоRU». URL: <https://pravo.ru/>

– OPENGOST.RU URL: <http://www.opengost.ru/>

– International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/>

2. Найти элементы нормативно-правового обеспечения экологического нормирования (ГОСТ, ГН и проч.), содержащие понятийные термины (см. ниже), выписать их и заполнить таблицу (таблица). *Первой строкой продемонстрирован пример заполнения.*

Список терминов: **токсичность, персистентность, ЛД₅₀, паспорт почвы, рациональное использование почв, почвоутомление, истощение почвы, фоновое содержание вещества в почве, загрязняющее почву вещество, ПДК, ОДК, санитар-**

ное состояние почвы, лимитирующий показатель вредности, химическое загрязнение почвы, биологическое загрязнение почвы, приоритетный компонент загрязнения почвы, загрязнение почв, государственное нормирование плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

**Некоторые понятия и термины
системы экологического нормирования**

Термин (аббревиатура)	Определение	Источник
Класс опасности	Градация химических веществ по степени отрицательного воздействия на почву, растения, животных. Предусматривает разделение химических веществ на три класса: 1 – высокоопасные, 2 – умеренно опасные, 3 – малоопасные	ГОСТ 17.4.1.02–83

Рекомендуемые источники:

ГОСТ 27593–88 Почвы. Термины и определения.

ГОСТ 17.4.1.02–83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы.

ГН 2.1.7.2041–06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы.

МУ 2.1.7.730–99 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.

ФЗ N 101-ФЗ О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения; от 16.07.1998 (ред. от 05.04.2016).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое экологическое нормирование?
2. Что такое экологический норматив?
3. Перечислите элементы нормирования качества почв.
4. Приведите примеры элементов нормативно-правового обеспечения экологического нормирования качества почв.
5. Назовите документ, содержащий информацию о предельных допустимых концентрациях веществ в почвах.
6. Чем отличается норматив ПДК от ОДК?

Практическая работа № 2

Тяжелые металлы в почвах сельскохозяйственных угодий, их влияние на здоровье человека

Цель: познакомиться с методикой установления категории загрязнения почв тяжелыми металлами и показателями здоровья населения.

Справочно-информационный материал

Поступление тяжелых металлов в почвы сельскохозяйственных угодий может происходить различными путями, но основные из них – аэральный и применение удобрений (сырье для получения минеральных удобрений (фосфориты, апатиты, калийные соли, как правило, содержит большое количество примесей). Фосфорные удобрения содержат в себе наибольшее число тяжелых металлов, азотные и калийные – меньше. Среднее положение между фосфорными и калийными удобрениями по содержанию тяжелых металлов занимают сложные (прил. В).

Поступление тяжелых металлов в организм человека происходит в основном по схеме: «почва → растение → животное → человек». Так, уровень заболевания КРС лейкозом коррелирует (коэффициент корреляции 0,65) с содержанием в почве кадмия, а взаимосвязь концентрации токсикантов в системе «почва–корма–мясо» характеризуется коэффициентами корреляции: 0,9–марганец; 0,64–железо; 0,88–хром; 0,75–свинец (Герасименко, 2009).

Основным диагностическим показателем воздействия **свинца** на здоровье человека является уровень его содержания в крови, где обычное его количество составляет около 0,01–0,06 мг/100 мл. При содержании 50–60 мкг/100 мл в поведении проявляются признаки депрессии, агрессивности, ухудшения самочувствия. Основное поступление свинца осуществляется через продукты питания. Большая часть его локализуется в костях, меньше – в органах и крови. Данные о специфической биологической роли этого элемента в организмах отсутствуют,

тогда как сведений о его токсичности множество. Повышенной чувствительностью к этому элементу отличаются дети. При свинцовом отравлении отмечаются признаки поражения нервной системы (головная боль, галлюцинации, атрофия зрительного нерва и другие), желудочно-кишечного тракта, нарушения функции почек (Гавриленко и др., 1988; Черных и др., 2004).

Ртуть. По степени токсичности различают следующие формы соединений Hg: металлическую (элементарную) ртуть; неорганические соединения; органические соединения.

Металлическая ртуть представляет опасность для человека из-за возникающих паров. Острые отравления ими выражаются общей слабостью, головной болью, болями при глотании, металлическим вкусом во рту, повышенной температурой, катаральными явлениями со стороны дыхательных путей (ринит, фарингит, реже бронхит). Затем развивается геморрагический синдром, присоединяются болезненность десен, резко выраженные воспалительные изменения полости рта, желудочные расстройства, признаки поражения почек, реже – воспаление легких.

Неорганические соединения ртути мало летучи, поэтому опасность большей частью представляет поступление внутрь организма с пищей и водой, а также через кожу.

Наиболее опасны ртутьорганические соединения, так как их токсическое действие проявляется и становится заметным лишь спустя несколько недель. Для этого вида поражения характерны эмоциональные и психические расстройства. Появляются возбудимость, раздражение, неспособность сосредоточиться, боязливость, чувство усталости, повреждения рассудка, носовые кровотечения, поражения глаз. У взрослых при попадании в организм около 350 мг ртути может наступить смерть. Заболевание, связанное с отравлением одного из подобных соединений – метилртутью, носит название «болезнь Минамата», по названию бухты в Японии, где впервые было отмечено массовое поражение этим веществом при употреблении в пищу ртутьсодержащей рыбы.

Значение ПДК, установленное ВОЗ для ртути при поступлении в организм с пищей, равно 5 мкг на 1 кг массы тела за не-

делю. Из них максимум 3,3 мкг в форме метилртути (Черных и др., 2004).

Максимальное количество **кадмия** при поступлении в организм фиксируется в печени и почках. Он влияет на ферментативные и окислительные процессы. Соли кадмия, попавшие в желудочно-кишечный тракт, вызывают кишечные кровотечения. Период выведения его из организма составляет от 10 до 30 лет. Единого мнения относительно безопасного количества этого элемента в пище нет. ВОЗ считает предельно допустимым поступление кадмия 1 мкг на 1 кг массы тела в день. Специфическим заболеванием является «итай-итай», которое выражается в размягчении и ломкости костей, что связано с замещением в костях кальция на кадмий, и кости размягчаются иногда настолько, что ломаются от глубокого вздоха. Есть, кроме того, сведения о связи кадмия и возникновения раковых заболеваний. Превышение поступления элемента в организм приводит к возникновению агрессивности, гастриту, анемии, заболеванию почек и половых желез, разрушению эритроцитов (Гавриленко и др., 1988; Черных и др., 2004; Герасименко, 2009).

Избыточное поступление **цинка** в организм животных и человека сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, а также нарушением усвоения фосфора, что приводит к развитию остеопороза. Дневная норма его поступления в организм – 10–15 мг. В основе многих проявлений цинковой детоксикации лежат конкурентные отношения цинка с рядом других металлов. Этот элемент может представлять мутагенную и онкогенную опасность. Превышение суточной дозы может привести к ишемической болезни, поражению сердечно-сосудистой системы (Гавриленко и др., 1988; Черных и др., 2004; Герасименко, 2009).

Медь – жизненно необходимым элемент. Однако при высоких уровнях содержания обладает широким спектром токсического действия с вариативными клиническими проявлениями. При высоких уровнях содержания ионы меди блокируют SH-группы белков, в особенности – ферментов. Интоксикация со-

единений меди может сопутствовать аутоимунными реакциям. Избыток элемента может провоцировать гипертонический криз, агрессивность, острый панкреатит, язву 12-перстной кишки (Черных и др., 2004).

Кобальт – является необходимым элементом для функционирования организмов, участвует в синтезе витамина В₁₂, оказывает влияние на белковый, жировой и углеводный обмен, на размножение и рост. Суточная потребность составляет 7–5 мкг. При недостатке возникают аcobальтозы, при избытке – угнетается синтез витамина В₁₂, нарушаются обмены, кроме того, он токсичен и канцерогенен (Гавриленко и др., 1988).

Никель – играет важную роль в биогенных процессах, входит в ряд ферментов, участвует в формировании нуклеиновых кислот, в окислительно-восстановительных процессах. В микроконцентрациях необходим человеку, однако возможно токсическое и канцерогенное действие, причем острая токсичность проявляется в зависимости от его соотношений с железом, кобальтом, другими элементами. При избытке возможно ухудшение зрения (Гавриленко и др., 1988; Черных и др., 2004).

Мышьяк – элемент, широко распространенный в организмах, не является тяжелым металлом, но, ввиду его высокой токсичности часто рассматривается в комплексе с ними. Известен с древних времен как «король ядов», хотя в малых дозах необходим, поскольку участвует в процессах окисления, нуклеинового обмена, синтеза гемоглобина (хотя и не входит в его состав). Обычное его содержание составляет $n \cdot 10^{-5}\%$. Микродозы мышьяка улучшают обменные процессы и усиливают жизнедеятельность тканей, большие количества могут привести к нарушению тканевого дыхания, некротическому поражению тканей, раковому поражению кожи, поражению респираторной и лимфатической систем, желудочно-кишечного тракта, и даже к летальному исходу (Гавриленко и др., 1988).

Предельные допустимые концентрации тяжелых металлов в почвах РФ указаны в соответствующих нормативных документах (прил. Д).

Возможное использование почв, загрязненных тяжелыми металлами, и примерные мелиоративные мероприятия на них приведены в табл. 2–1.

При загрязнении почвы несколькими элементами оценка опасности загрязнения Z_3 производится по формуле:

$$Z_3 = \sum K_c - (n - 1), \quad (1)$$

где: K_c – коэффициент концентрации элемента, определяемый отношением его содержания в загрязненной почве к фоновому; n – число химических элементов-загрязнителей.

Показатель Z_3 не учитывает токсичность (класс опасности) тяжелых металлов, их возможный антагонизм и синергизм в почвенной и растительной среде.

**Степень загрязнения почв химическими веществами
и мелiorативные мероприятия на них (Герасименко, 2009)**

Степень загрязнения почвы	Характеристика загрязнения почв	Возможное использование	Мелiorативные и организа- ционные мероприятия
Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но меньше ПДК	Под все с.-х. культуры	Известкование, внесение удобрений
Низкая	Содержание химических веществ в почве больше ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Ограничиваются культуры, вы- сокочувствительные к накопле- нию ТМ. Потребление продук- ции растениеводства не ограни- чивается, за исключением ис- пользования для производства диетического и детского пита- ния	Известкование, внесение удобрений и сорбентов
Средняя	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и мигра- ционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Возможно выращивание корне- клубнеплодов, кроме свеклы. Исключается производство сто- ловой зелени (салат, лук, шпи- нат, укроп, петрушка), овощей и ягодных культур. Вводятся ограничения на сбор грибов и лекарственных растений	Глубокая (30–40 см) вспаш- ка. Известкование, внесение удобрений и сорбентов. Контроль культур на содер- жание ТМ.

Степень загрязнения почвы	Характеристика загрязнения почв	Возможное использование	Мелиоративные и организационные мероприятия
Высокая	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Под кормовые и технические культуры, устойчивые к ТМ. Ограничиваются для продовольственных целей культуры, слабочувствительные к ТМ	Удаление верхнего (0–2 см) загрязненного слоя. Известкование, внесение удобрений и сорбентов, введение семеноводства. Контроль культур на содержание ТМ
Очень высокая	Содержание химических веществ в почве выше ПДК по всем показателям	Изъятие земель из с.-х. оборота	Консервация земель. Мониторинг токсикантов

Примечание: удобрения – органические и минеральные (особенно – фосфорные). Сорбенты: торф, мхи, глинистые минералы. Известковая мука по ГОСТ Р 50261–92.

Поэтому по величине показателя Z_3 можно провести лишь примерную оценку степени загрязнения почвы и состояния здоровья населения (табл. 2–2).

Т а б л и ц а 2–2

Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв (Герасименко, 2009)

Категория загрязнения почв	Z_3	Показатели здоровья населения в очагах загрязнения	Коэффициент степени загрязнения почв (C_3)
Допустимая	<2	Низкий уровень заболеваемости детей	0
Низкая	2,1–8	Низкий уровень заболеваемости взрослых	0,3
Средняя	8,1–32	Увеличение общего уровня заболеваемости	0,6
Высокая	32,1–64	Увеличение числа болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушение функционирования сердечно–сосудистой системы	1,5
Очень высокая	>64	Увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости	2

Задание 1

Требуется установить категорию загрязнения лугово-черноземной почвы тяжелыми металлами и показатели здоровья людей.

Исходные данные.

Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг): свинец – 206; кадмий – 2,95; никель – 100; цинк – 81.

Фоновое содержание химических элементов в лугово-черноземной почве приведено в табл. 2–3.

Т а б л и ц а 2–3

**Фоновое содержание валовых форм ТМ и мышьяка (мг/кг)
в слое почвы 0–20 см (Герасименко, 2009)**

Почвы	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерново-подзолистые глинистые и суглинистые	45	0,12	15	0,1	15	10	30	2,2
Серые лесные	60	0,2	16	0,15	18	12	35	2,6
Черноземы	68	0,24	20	0,2	25	15	45	5,6
Черноземы типичные и выщелоченные (на водоразделе)	28,5	0,09	8,9	–	10,5	–	21,6	–
Лугово-черноземные	35	0,17	10,1	–	12,5	–	22,7	–

Решение

1. Рассчитать по формуле [1] с использованием данных табл. 2–3 показатель Z_з.

2. По величине Z_з с использованием табл. 2–2, определить уровень загрязнения почвы и показатели здоровья населения.

3. По таблице 2–1 определить характеристику загрязнения, возможное использование и мелиоративные и организационные мероприятия на данной почве.

4. Определить к каким классам опасности относятся тяжелые металлы из вышеперечисленного перечня (прил. Е).

5. Вывод по заданию.

Задание 2

Требуется установить категорию загрязнения серой лесной почвы тяжелыми металлами и показатели здоровья людей.

Исходные данные.

Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг): свинец – 206; кадмий – 2,95; никель – 100; цинк – 81; медь – 26; ртуть – 0,2.

Фоновое содержание этих металлов в серой лесной почве приведено в табл. 2–3.

Решение см. задание 1.

Задание 3

В результате аварийного сброса сточных вод, в которых содержалось 60 г сурьмы ($M_{\text{сурьмы}}$), было загрязнено пастбище площадью 1000 м² (S), глубина проникновения составляет 0,5 м (h). Можно ли пить молоко коров, которые паслись на этом пастбище, если на каждом звене пищевой цепи происходит накопление токсичных веществ в 10-кратном размере? ПДК сурьмы в молоке составляет 0,05 мг/кг. Объемный вес (плотность) почвы (ρ) принять равной 1000 кг/м³.

Решение

1. Определить массу почвы ($M_{\text{почвы}}$), загрязненной сточными водами по формуле (2):

$$M_{\text{почвы}} = S \cdot h \cdot \rho, \quad (2)$$

2. Определить концентрацию сурьмы в почве.
3. Составить схему изменения концентрации сурьмы в пищевой цепи «почва–трава–корова–молоко» и определить концентрацию сурьмы в молоке.
4. Используя источники самостоятельного информационного поиска, охарактеризуйте влияние сурьмы на организм человека.
5. Вывод по заданию.

Контрольные вопросы и задания

1. Воспроизведите основную схему поступления тяжелых металлов в организм человека.
2. Охарактеризуйте влияние Pb на здоровье человека.
3. Охарактеризуйте влияние Hg на здоровье человека.
4. Охарактеризуйте влияние Cd на здоровье человека.
5. Охарактеризуйте влияние Zn на здоровье человека.
6. Охарактеризуйте влияние Cu на здоровье человека.
7. Охарактеризуйте влияние Co на здоровье человека.

8. Охарактеризуйте влияние Ni на здоровье человека.
9. Охарактеризуйте влияние As на здоровье человека.
10. Охарактеризуйте влияние Sb на здоровье человека.
11. Перечислите основные мелиоративные мероприятия, используемые для почв, загрязненных химическими веществами.
12. Охарактеризуйте показатель «Zз».

УДОБРЕНИЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Внесение удобрений является одним из ответственных моментов полевых работ. Сделанная при этой процедуре ошибка впоследствии никак не может быть исправлена, а большей частью и не бывает обнаружена.

Практическая работа № 3

Минеральные удобрения: расчет доз внесения

Цель: познакомиться с методикой расчета доз внесения минеральных удобрений.

Справочно-информационный материал

Для расчета количества вносимых минеральных удобрений учитывается содержание в них основного питательного вещества (N – для азотных удобрений, P₂O₅ – для фосфорных, K₂O – для калийных). Запись необходимой дозы внесения осуществляется в виде химического знака элемента с подстрочным индексом. Например, запись N₂₀ означает, что нужно внести азотное удобрение дозой 20 кг питательного вещества на 1 га.

Содержание питательных веществ для различных видов удобрений сильно отличается (прил. А), в связи с чем нормы внесения нужно определять в каждом конкретном случае. При этом необходимо помнить, что бесконтрольно смешивать удобрения нельзя, так как между ними может произойти химическая реакция, изменяющая их начальные свойства и влекущая последствия для почв и произрастающих на них растений. Соответственно, рекомендации для использования удобрений (основные виды) следующие:

1. Суперфосфат порошковидный (Ca(H₂PO₄)₂) водорастворимый, быстро связывается в малоподвижное состояние и постепенно переходит в малодоступную для растений форму. Подходит для всех почв, особенно для нейтральных и щелочных; пригоден для кислых, но действует значительно лучше,

если они произвесткованы. Чтобы уменьшить связывание удобрения кислой почвой, порошковидный суперфосфат вносят вразброс до посева в смеси с перегноем или с примесью мела (10%), извести, фосфоритной муки. Подходят любые способы внесения. Максимально эффективное сочетание с другими удобрениями: на щелочных и нейтральных почвах – с любыми видами удобрений, рекомендуемых для этих почв. На дерново-подзолистых – с кальциевой селитрой, цианамидом кальция. С кислыми удобрениями – при их нейтрализации. Подходит для всех культур, но особенно для нуждающихся в гипсовании (бобовые) (Справочник... 1977).

2. Суперфосфат гранулированный водорастворимый, рекомендуется вносить вместе с калийными удобрениями осенью, с азотными и калийными – весной. Сочетание с другими удобрениями: на щелочных и нейтральных почвах – с любыми видами удобрений, рекомендуемых для этих почв. На дерново-подзолистых – с кальциевой селитрой, цианамидом кальция. С кислыми удобрениями – при их нейтрализации. Гранулированный суперфосфат – эффективное фосфорное удобрение, применяется на всех почвах (но лучше не для кислых) под любые культуры (ГОСТ 5956-78; Справочник... 1977).

3. Суперфосфат двойной гранулированный водорастворимый, постепенно связывается в малоподвижные соединения. Почву не подкисляет. Используется для всех почв, под любые культуры. Оптимальное внесение – в рядки при посеве. Сочетание с другими удобрениями: на щелочных и нейтральных почвах – с любыми видами удобрений, рекомендуемых для этих почв. На дерново-подзолистых – с кальциевой селитрой, цианамидом кальция. С кислыми удобрениями – при их нейтрализации. Для равномерного распределения по площади рекомендуется смешивать с другими удобрениями (Справочник... 1977).

4. Мука фосфоритная – водонерастворимая, рекомендуется вносить на кислые почвы (подзолистые, менее – для выщелоченных черноземов), т.к. они постепенно переводят удобрение в состояние, доступное для растений. На лишенных кислотности

(особенно щелочных почвах) действие более слабое. В сочетании с органическим веществом, а также с азотными (физиологически кислыми) и калийными удобрениями, действие усиливается на всех почвах. Наибольший эффект достигается в сочетании кислыми азотными, калийными удобрениями и суперфосфатом (при смешении с суперфосфатом уменьшается его связывание и усиливается действие фосфоритной муки). Оптимально для озимых, бобовых и следующих за ними в севообороте культур (ГОСТ 5416-74; Справочник... 1977).

5. Аммиак безводный (NH_3) и аммиачная вода связываются почвой. Применяют при предпосевном внесении, но можно и осенью, осадками не вымывается. Внесение производят на глубину 10–20 см. Изменение реакции среды почвы происходит сначала в сторону подщелачивания, а после нитрификации – подкисления. Сочетание с другими удобрениями: применяются отдельно от обычных (сухих) удобрений (Справочник... 1977).

6. Аммиачная селитра (NH_4NO_3), нитрат аммония (селитры – удобрения, являющиеся солями азотной кислоты (прил. С), нитраты, азотнокислые соли) при внесении удобрения в почву аммиачная часть азота связывается с почвой и не выщелачивается; нитратная часть остается свободной и подвижной, может выщелачиваться. Подкисляет почву. Используется для не кислых почв (насыщенных основаниями); для кислых почв применение возможно при их известковании или при нейтрализации удобрений. С другими удобрениями эффект воздействия может быть оптимизирован: на кислых почвах в сочетании (не в смеси) с нейтральными и щелочными.

7. Карбамид (мочевина) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). При внесении в почву подкисляете ее; амидная форма быстро превращается в аммиачную (связываемую почвой). Используется для не кислых почв (насыщенных основаниями); условие для применения на кислых – известкование или нейтрализация удобрений. Наиболее эффективно в сочетании с фосфорными удобрениями (типа преципитата) и сульфатом калия. Применяется для всех культур (Справочник... 1977).

8. Сульфат аммония ((NH₄)₂SO₄) и сульфат аммония натрия.

Аммиачная форма почвой связывается в малоподвижное, но доступное для растения соединение, мало выщелачивается осадками. В теплую погоду может нитрифицироваться, после чего азот вымывается в форме нитратов. Слабо подкисляет. Используется для некислых почв (насыщенных основаниями); для кислых почв – при их известковании или при нейтрализации удобрений. Наиболее эффективно в сочетании с щелочными или нейтральными фосфорными удобрениями. преципитатом, костяной и фосфоритной мукой. Применяется для всех культур, особенно – картофеля. Эффект применения оптимален при сочетании с щелочными или нейтральными фосфорными удобрениями: преципитатом, костяной и фосфоритной мукой (Справочник... 1977).

9. Калий хлористый (KCl) поглощается почвой, часть его находится в обменном (доступном) состоянии, а часть – в необменном (труднодоступном). Вносят в качестве основного удобрения осенью или ранней весной (за 2–4 недели до посадки) при перекапывании почвы. Хлористый калий применяют для основного припосевного внесения на всех основных типах почв под овощные культуры и картофель, многолетние плодово-ягодные насаждения и декоративные культуры. Особенно эффективно его применение на почвах легкого гранулометрического состава (песчаные почвы, супеси, легкие суглинки), а также на торфянистых почвах (ГОСТ 4568-95).

10. Калийная соль 40% при внесении удобрения калий связывается или поглощается, поэтому он малоподвижен. На почвах с малой емкостью поглощения (песчаные) подвижность калия возрастает. Применяется для всех почв, но почву подкисляет, поэтому для кислых необходимо сочетание с известкованием и применением щелочных удобрений. В засушливых районах может создавать признаки засоления. Эффективен для культур малочувствительных к хлору и хорошо отзывющихся на натрий.

11. Сульфат калия (K₂SO₄) при внесении удобрения калий связывается или поглощается, поэтому он малоподвижен. На

почвах с малой емкостью поглощения (песчаные) подвижность калия возрастает. В почве калий связывается и становится малоподвижен. Применяется для всех почв. Особо нужно рассматривать его внесение для культур чувствительных к хлору (лен, конопля, картофель, ягодники и др.) (Справочник... 1977).

12. Сульфат калия и магния (калимагнезия, шенит) ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) при внесении удобрения калий связывается или поглощается, поэтому он малоподвижен. На почвах с малой емкостью поглощения (песчаные) подвижность калия возрастает. В почве калий связывается и становится малоподвижен. Применяется для всех почв, но лучше для легких. Особо нужно рассматривать его внесение для культур чувствительных к хлору или отзывающихся на магний (бобовые, травы, картофель) (Справочник... 1977).

Если соблюдены требуемые условия, необходимое количество удобрения (в кг на делянку/поле) определяется по формуле (Практикум... 2001):

$$X = \frac{a \cdot 100 \cdot c}{b \cdot 10000} = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b}, \quad (1)$$

где: X – количество удобрений на делянку, кг; a – доза питательного вещества, кг/га; b – питательное вещество в удобрении, %; c – площадь делянки, m^2 .

При небольших делянках (менее $50 m^2$) удобнее считать эту величину в граммах, для чего приведенное выражение необходимо умножить на 1000:

$$X = \frac{10 \cdot a \cdot c}{b}. \quad (2)$$

Навеску менее 1 кг отвешивают с точностью до 1 г, от 1 до 10 кг – с точностью до 100 г.

Доза удобрения для делянок, площадь которых дана в гектарах, рассчитывается также по формуле (Практикум... 2008):

$$Y = \frac{a \cdot b \cdot 100}{c}, \quad (3)$$

где: $У$ – навеска удобрений на посевную площадь делянки, кг; a – доза питательных веществ, кг/га; b – площадь делянки, га; c – содержание действующего вещества в удобрении, %.

Пример расчетов 1 (Практикум... 2001).

Вариант K_{90}

Удобрения запланировано внести в форме 40% калийной соли.

Площадь делянки – 120 м².

$$X = \frac{90 \cdot 120}{40 \cdot 100} = 2,7 \text{ кг}$$

Т.о. на делянку 120 м² необходимо внести 2,7 кг 40% калийной соли.

Пример расчетов 2 (Практикум ..., 2008).

Вариант K_{90} .

Удобрения вносятся в форме 40% калийной соли.

Площадь делянки – 120 м².

1. для начала рассчитываем дозу удобрения на 1 га:

100 кг удобрения содержат 40 кг K_2O ; внести необходимо 90 кг действующего вещества.

100 кг – 40 кг K_2O

x – 90 кг K_2O

$x = 225$ кг удобрения на 1 га.

2. Рассчитываем дозу на 1 делянку по пропорции:

10 000 м² (1 га) – 225 кг K_2O

120 м² – x

$x = 2,7$ кг

Т.о. на делянку 120 м² необходимо внести 2,7 кг 40% калийной соли.

Пример расчетов 3

Вариант К₉₀.

Удобрения вносятся в форме 40% калийной соли.

Площадь делянки – 0,012 га.

$$Y = \frac{90 \cdot 0,012 \cdot 100}{40} = 2,7 \text{ кг}$$

Т.о. на делянку 120 м² необходимо внести 2,7 кг 40% калийной соли.

Задание 1

1. Рассчитать нормы внесения удобрений в полевом опыте для предложенного варианта задания.

Решение

1. Выбрать любой из трех вариантов расчетов (примеры 1–3).
2. Содержание действующего вещества принять согласно указанному в прил. А.
3. Произвести расчеты.
4. Сделать вывод по работе.

Варианты заданий

1. Рассчитать количество удобрений (суперфосфат двойной (гран. марка А), калий хлористый крупнокристаллический) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений Р₆₀К₆₀. Площадь делянки 0, 011 га.

2. Рассчитать количество удобрений (суперфосфат двойной (порошок. из кингисеппского флот. конц.), калий хлористый (гран. II сорт)) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений Р₆₀К₆₀. Площадь делянки 120 м².

3. Рассчитать количество удобрений (селитра натриевая тех., соль калийная смешанная (40%)) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений N₆₀К₆₀. Площадь делянки 120 м².

4. Рассчитать количество удобрений (карбамид (со знаком качества), калий серноокислый удобрительный (I сорт)) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений $N_{60}K_{60}$. Площадь делянки 100 м^2 .

5. Рассчитать количество удобрений (мочевина (для сельск. хоз.), фосфоритная мука (I сорт), калийно-магниевый конц. (гран.)) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений $N_{90}P_{60}K_{60}$. Площадь делянки 110 м^2 .

6. Рассчитать количество удобрений (нитроаммофос (гран. марка А), фосфоритная мука (III сорт), калий хлористый (гран. II сорт)) в их физическом весе, необходимых для внесения на делянки из расчета дозы удобрений $N_{60}P_{60}K_{120}$. Площадь делянки 120 м^2 .

Задание 2

1. Используя сведения по удобрениям из приложения А и справочно-информационного материала практической работы самостоятельно составить задачу. Решить ее. Выбрать себе «ученика» из группы обучающихся и предложить произвести расчеты.

2. Оценить полученные результаты.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите химическую формулу действующего вещества азотных, фосфорных и калийных удобрений.

2. Расшифруйте запись: $N_{20}P_{30}K_{20}$

3. Почему нельзя бесконтрольно смешивать удобрения?

4. Как удобрения могут влиять на свойства друг друга при их сочетании? Приведите примеры.

Практическая работа № 4

Обоснование доз извести для кислых почв

Цель: познакомиться с методикой обоснования доз извести для кислых почв.

Справочно-информационный материал

Почвы представляют собой сложные кислотно-основные системы. В их состав входят разнообразные компоненты, которые при взаимодействии с водой проявляют свойства кислот, оснований, амфотерных соединений (амфолитов). При исследовании кислотно-основных свойств почв характеризуют их кислотность и щелочность, которые отражают отношение почв к протону (иону водорода). В связи с этим кислотность рассматривают, как способность почвы проявлять свойства кислот, или доноров протонов, а щелочность – как свойства оснований, или акцепторов протонов.

Кислотно-основные свойства почв характеризуют специфическим набором показателей. Универсальным параметром, который определяют во всех почвах независимо от их свойств, и используют при решении практически любых проблем, является рН (водородный показатель). Величина рН позволяет дать сравнительную оценку активности H^+ и OH^- –ионов в жидких фазах исследуемых почвенных систем – реальных почв, паст, суспензий (табл. 4–1, 4–2).

Т а б л и ц а 4–1

**Концентрация ионов H^+ и OH^-
в зависимости от характера среды (Справочник... 1970)**

Характер среды	C_{H^+}	C_{OH^-}	рН
Нейтральная	10^{-7}	10^{-7}	7
Кислая	$>10^{-7}$	$<10^{-7}$	<7
Щелочная	$<10^{-7}$	$>10^{-7}$	>7

Активной кислотностью называют реакцию почвенного раствора, которая создается воднорастворимыми кислотами, а также гидролитически кислыми солями.

Потенциальная кислотность обусловлена ионами водорода и алюминия, поглощенными почвенными коллоидами. Различают два вида потенциальной кислотности: обменную (обнаруживаемую при взаимодействии почвы с раствором нейтральных солей, например, КС1) и гидролитическую (появляющуюся при взаимодействии почвы с раствором гидролитически щелочных солей, например, уксуснокислым натрием) (Воробьева, 1998).

Т а б л и ц а 4–2

Группировка почв по значению рН

Почвы	Значения рН
Сильнокислые	3–4,5
Кислые	4,5–5,5
Слабокислые	5,5–6,5
Нейтральные	6,5–7,0
Слабощелочные	7,0–7,5
Щелочные	7,5–8,5
Сильнощелочные	8,5 и более

Известкование кислых почв

Почву известкуют для того, чтобы устранить избыточную кислотность, вредную для растений и некоторых микроорганизмов. Одновременно с устранением (нейтрализацией) кислотности известкование вызывает целый ряд других благоприятных изменений в свойствах почвы, что важно для земледелия:

а) *известь переводит в неактивное состояние алюминий, марганец, железо*, которые на кислых почвах могут содержаться в растворимом виде, что даже в малых количествах (4–6 мг на 100 г почвы) вредит культурным растениям и бактериальной микрофлоре;

б) *известь способствует переходу недоступных сельскохозяйственным культурам фосфатов полуторных окислов в более усвояемые* для растений фосфаты кальция и магния.

в) *известь усиливает мобилизацию азота за счет почвенных запасов гумуса (аммонификация, нитрификация);*

г) *кальций извести переводит поглощенные почвой калий и аммоний в раствор, что также делает их более легко доступными растениям;*

д) *известь улучшает структуру почвы, а в связи с этим водный, воздушный режим и другие условия; тяжелые по гранулометрическому составу почвы легче обрабатывать после известкования;*

е) *известь служит источником кальция для тех культур, которые потребляют его особенно много (бобовые культуры, а также капуста и др.).*

Установление необходимости известкования почв

(Земледелие... 1959)

Определение почвенной кислотности. Для научного обоснования известкования почвы важно знать не столько активную кислотность, сколько потенциальную (скрытую) кислотность и ее виды.

Между активной и потенциальной формами кислотности существует динамическое равновесие, поэтому нейтрализация первой приводит к ее довольно быстрому восстановлению за счет второй.

Обменная кислотность является более активной и вредной для сельскохозяйственных культур, наличие ее в почве свидетельствует о важности и первоочередности известкования участка поля.

Для большей уверенности в пользе и необходимости намеченного известкования необходимо учитывать еще три дополнительных условия:

- 1) степень насыщенности почвы основаниями (СНО);
- 2) гранулометрический состав почв;
- 3) состав и чередование культур в севообороте.

Значение величины *степени насыщенности почвы основаниями* позволяет указать на относительное место водородных ионов в поглощающем комплексе почвы (ее физико-химической

поглотительной способности). При этом, если степень насыщенности основаниями ниже 50%, то известкование является очень важным и первоочередным мероприятием в окультуривании почвы. Если степень насыщенности основаниями составляет 50-70%, известкование также необходимо, но проводится во вторую очередь. И, наконец, если СНО больше 70%, то это указывает на то, что известкование уже не столь необходимо и принадлежит к мероприятиям третьей очереди.

Гранулометрический состав почвы (как и содержание в ней гумуса) определяет в значительной степени ее *буферные свойства*, т.е. способность почвы поддерживать свою реакцию (рН) на определенном уровне. Чем больше в составе почвы глинистых частиц и гумуса (перегноя), тем выше ее буферность, а значит, с меньшими опасениями в сдвиге реакции в щелочную сторону можно вносить повышенные дозы извести. Наиболее осторожным с дозами внесения извести надо быть на почвах легкого гранулометрического состава (супеси), с их очень слабым буферным действием и низким содержанием гумуса.

Состав культур в севообороте и порядок их чередования важны потому, что разные сельскохозяйственные культуры неодинаково чувствительны к почвенной кислотности. Это дает возможность вносить известь, прежде всего, под те растения, которые наиболее сильно страдают от кислотности почвы; к ним относятся: клевер, люцерна, пшеница, капуста, свекла, ячмень, горох, подсолнечник, огурцы, лук, яблоня, слива, вишня и др.

Сравнительно стойкими к почвенной кислотности являются рожь и овес; очень стойки сераделла, а также тимopheевка и некоторые другие злаковые травы. Своеобразное положение занимают лен, картофель, а также люпин. Два последних растения стойки к кислотности и страдают от избытка в почвенном растворе кальция. Лен страдает не только от кислотности, но и от избытка кальция (и алюминия). Это обязывает в севооборотах со льном, картофелем и люпином соблюдать ряд предосторожностей при известковании.

Находятся дозы извести, кроме того, в зависимости от способов ее внесения в почву.

Известкование – процесс, нуждающийся в повторениях, что обусловлено выщелачиванием кальция из почвы.

Известковые удобрения

В качестве известковых удобрений применяются известковая мука, озерная известь (гажа), ключевая известь (известковый туф), природная доломитовая мука, известковые торфа (торфотуфы), а также отходы производства – сланцевая зола, торфяная зола, дефекат (с сахарных заводов), отзол (с кожевинных заводов) и др. Большое значение имеют местные источники извести.

Чем выше тонина помола, тем лучше действие известковых удобрений. Туфы и гажка обычно рыхлы и не требуют измельчения.

Для расчета дозы извести все известковые удобрения должны быть проанализированы на содержание углекислого кальция. Многие из них содержат наряду с кальцием еще и магний. Особенно полезно наличие магния при известковании супесчаных почв и на всех кислых почвах под культуры, чувствительные к извести (лен, картофель и др.).

Известняки – осадочные горные породы, состоящие из карбоната кальция (CaCO_3) и примесей. В сельском хозяйстве размолотые известняки используются в виде так называемой известковой муки.

При обжиге известняков получают CaO – так называемую жженую известь. На воздухе это соединение поглощает воду и постепенно превращается в Ca(OH)_2 . Эту форму извести называют «пушонкой», или свежегашеной известью, так как ее получают путем «гашения» жженой извести водой.

Известковый туф – слегка окрашенные отложения карбоната кальция, выпадающие из концентрированного раствора грунтовых вод около их источника. Часто встречается в природе, хотя и с небольшими запасами извести. Содержание CaCO_3 достигает 95% и даже 98%. Известковый туф является ценным

известковым удобрением и может быть без размола использован для известкования почвы.

Мергель – осадочная порода глинисто-карбонатного состава. Содержит 30–90% карбонатов. Рыхлый мергель размалывать не надо, а плотный растрескивается с превращением в рассыпчатую массу при оставлении в кучах в поле на зиму.

Доломит – двойная углекислая соль кальция и магния – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ с различными примесями. Для известкования почв могут быть использованы доломитизированные известняки, но они обычно отличаются большей твердостью, чем обычные известняки, что затрудняет их размол. Поэтому ценны природные выходы так называемой доломитовой муки, измельчившейся в процессе выветривания.

Дефекационная грязь – отход свеклосахарного производства, используемый как известковое удобрение. Выход ее составляет 8–12% к весу переработанной свеклы. Состав зависит от характера и количества несахаров в свекловичном соке, а также от количества извести, применяющейся для очистки сока. На фильтровальных прессах дефекационная грязь получается с содержанием воды до 50%. На воздухе она подсыхает в течение 1–2 лет, после чего может быть использована для известкования при нейтрализации кислых почв. Действует лучше, чем молотый известняк, так как, помимо извести (40–50%), содержит органические вещества и другие ценные элементы пищи растений (НРК), хотя и плохо доступные растениям.

Дозы извести устанавливаются различными методами, самый простой из них – на основании только определения активной кислотности (рН) в солевой вытяжке из почвы (с учетом ее гранулометрического состава) (табл. 4–3).

Т а б л и ц а 4–3

Нормальные (полные) дозы извести (в тоннах углекислой извести на га) при содержании в почве не более 3% гумуса (Земледелие... 1959)

Гранулометрический состав почвы	рН солевой вытяжки					
	4,5 и менее	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4–5,5
Супесчаный и легкосуглинистый	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,0–2,0
Средне- и тяжелосуглинистый	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5–4,0

Задание

1. На основании данных таблицы 4–5 графически изобразить динамику значений рН в почвенном профиле. Проанализировать полученный рисунок.

2. На основании данных гранулометрического состава и нижеприведенных свойств почв (табл. 4–4, 4–5) обосновать необходимость известкования почвы и определить (при необходимости) дозу извести (табл. 4–3).

Решение

1. Для выполнения первого задания необходимо построить систему координат в которой по оси абсцисс откладываются значения рН, а по оси ординат – почвенные глубины и горизонты.

Т а б л и ц а 4–4

Гранулометрический состав дерновой слабоподзолистой почвы (Танзыбаев, 1993)

Горизонт, глубина, см	Фракции в % (размер в мм)						Физическая глина, % (<0,01 мм)
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	
А _д (3–14)	н/о						
А ₁ А ₂ (18–28)	3,0	32,7	30,9	14,6	9,2	9,6	
А ₂ В (32–43)	4,2	26,0	33,5	13,0	16,4	6,6	
В (43–52)	3,8	28,1	32,2	12,0	17,0	6,9	
ВС (55–65)	4,6	29,2	33,1	14,4	13,3	5,4	
С (75–85)	9,9	32,7	28,0	10,4	14,8	4,2	

Таблица 4-5

**Некоторые свойства дерновой
слабоподзолистой почвы (Танзыбаев, 1993)**

Горизонт, глубина, см	Гумус, %	pH _{водн.}	pH _{сол.}	СНО, %
A _n (3–14)	н/о	5,0	4,0	50,9
A ₁ A ₂ (18–28)	3,00	4,7	3,8	42,1
A ₂ B (32–43)	2,08	4,8	3,9	36,0
B (43–52)	1,59	4,8	3,9	51,2
BC (55–65)	0,93	5,0	4,1	57,5
C (75–85)	0,53	5,6	4,3	81,7

2. Для выполнения второго задания необходимо рассчитать значения физической глины (табл. 4–4), после чего определить гранулометрический состав почвы (табл. 4–6). На основании определенного состава гранулометрических составляющих, и имеющихся почвенных свойств (табл. 4–5) обосновать необходимость известкования почвы и дозу извести (при необходимости ее внесения).

Таблица 4-6

**Классификация почв подзолистого типа почвообразования
по гранулометрическому составу Н.А. Качинского
(Гранулометрический... 1996)**

Содержание физической глины (частиц <0,01 мм), %								
0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–65	65–80	>80
Песок рыхл.	Песок связанный	Супесь	Суглинок легкий	Суглинок средний	Суглинок тяжелый	Глина легкая	Глина средняя	Глина тяжелая

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите универсальный показатель при определении кислотно-основных свойств почв.
2. Дайте определение понятиям: «активная кислотность», «потенциальная кислотность», «обменная кислотность», «гидролитическая кислотность».
3. Перечислите благоприятные изменения в свойствах почв при внесении извести.
4. Назовите условия, которые необходимо учесть для принятия решения об известковании почв.
5. Перечислите вещества, используемые в качестве известковых удобрений. Охарактеризуйте их.
6. В чем заключается суть метода определения дозы извести, рассмотренного в данной практической работе?

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ

К категории засоленных (Salt-affected soils) относят почвы, содержащие хотя бы в одном горизонте почвенного профиля легкорастворимые соли или их ионы в количествах, превышающих порог токсичности (максимально допустимое количество солей, которое не вызывает угнетения растений).

Содержание водорастворимых солей в почвах может являться лимитирующим фактором их использования в сельскохозяйственном производстве.

Процесс накопления легкорастворимых соединений в профиле существенно ограничивает производство сельскохозяйственных культур и, соответственно, оказывает негативное воздействие на продовольственную безопасность. Потери урожайности в засушливых районах из-за засоленности почвы достигают от 18–26% до 43% (Руководство... 2017).

Практическая работа № 5

Солевой профиль

Цель: познакомиться с методикой построения солевого профиля почв, позволяющей оценить картину засоления.

Справочно-информационный материал

Решающее значение для принятия управленческих решений в сфере использования в сельском хозяйстве засоленных почв имеет анализ состава водной вытяжки (фильтрат 1:5), выявляющий характер засоления и его интенсивность.

Выделяют два основных типа засоления: природное и вторичное.

Первый является естественным процессом в ненарушенных экосистемах. Приурочено оно к определенным типам рельефа и гидрогеологическим условиям, почвы привязаны к областям высокого уровня грунтовых вод и тяготеют к районам затрудненного стока или бессточности, когда баланс грунтовых

вод регулируется испарением и транспирацией. Аридный климат способствует сохранению реликтовых солевых запасов и приводит к активному современному соленакоплению в подчиненных ландшафтах в гидроморфных условиях.

Второй – реализуется в результате необоснованных поливов при орошении и промывке почв без надлежащего обеспечения дренажа, что вызывает быстрый подъем грунтовых вод. В настоящее время интенсивность вторичного засоления представляет собой значительную проблему для безопасности засушливых экосистем во всем Мире.

Процессы засоления оказывают значительное влияние на функции почв, такие как: способность действовать как буфер и фильтр для загрязнителей, участие в гидрологическом и азотном циклах, поддержание биоразнообразия, выполнение роли среды обитания.

Воздействие засоления на производство сельскохозяйственной продукции тесно связано с нарушением процессов поглощения азота и ухудшением роста и развития растений. Нарушение биологической активности почв приводит к потере источников пищи для почвенного биотического комплекса. Существуют значительные риски и экологический стресс для пахотных угодий, связанные с воздействием заброшенных земель на здоровье почв и состояние окружающей среды, а увеличение солевой нагрузки ухудшает услуги агроэкосистем и снижает доходы производителей сельскохозяйственной продукции. Наиболее значительным эффектом засоления в засушливых сельскохозяйственных ландшафтах является потеря естественной растительности и лесов.

При изучении водной вытяжки почв учитывают то, что в нее переходит только часть простых солей, находящихся в почве в зависимости от их растворимости:

а) легкорастворимые соли практически переходят в раствор полностью (все хлориды, а также сульфаты и карбонаты натрия);

б) средне- и труднорастворимые соли переходят в раствор только частично, в зависимости от состава и концентрации равновесного раствора (гипс, карбонаты кальция и магния).

Основными ионами, определяемыми данным методом, являются:

катионы: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ (K^+);

анионы: Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Результаты исследования (содержание ионов) выражаются в ммоль/100 г почвы (либо мг·экв/100 г почвы) и в процентах.

Весьма информативным для характеристики процесса засоления является построение солевого профиля на основании количественных данных по ионному составу.

Солевым профилем называется графическое выражение результатов исследования состава водной вытяжки.

Полученные рисунки профилей могут демонстрировать накопление солей на различных глубинах, кроме того, характеризовать процессы засоления и рассоления.

Построение солевого профиля

Для построения солевых профилей на оси ординат показывают глубину почвенного профиля и анализируемых проб в сантиметрах.

Справа и слева от оси ординат на оси абсцисс показывают количество анионов и катионов (соответственно) в мг·экв/100 г почвы (или ммоль/100 г почвы).

Как правило, при построении кривых распределения ионов в рамках солевого профиля на оси абсцисс за ноль принимают кривую распределения предшествующего иона. Это позволяет получить симметричное относительно оси ординат изображение солевого профиля (в случае если натрий (+калий) получен расчетным путем по разности) (рис. 5-1).

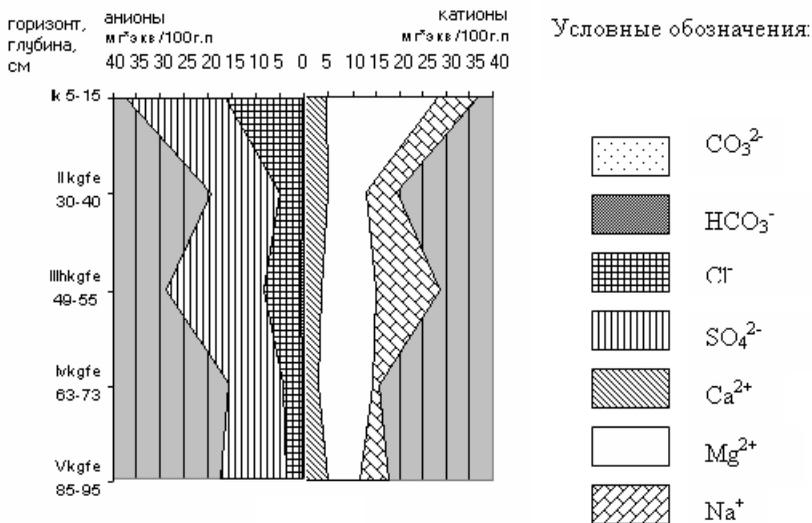


Рис. 5-1. Солевой профиль солончака гидроморфного

Задание

1. Построить солевой профиль почвы для предложенного варианта работы.

Указанные в таблицах вариантов заданий значения выстроены следующим образом: в числителе – мг·экв/100 г почвы, в знаменателе – %.

2. Рассчитать сумму солей (в %) для каждого горизонта почвы предложенного варианта работы.

3. Проанализировать полученные результаты.

4. Сделать вывод по работе.

Вариант 1

Солончак гидроморфный (Родикова, 2007)

Горизонт, глубина, см	Катионы, $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ %			Анионы, $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ г п %			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-
I_k (5–15)	<u>4,45</u> 0,18	<u>23,83</u> 0,57	<u>8,72</u> 0,20	<u>0,50</u> 0,03	нет	<u>20,50</u> 0,98	<u>16,00</u> 0,56
II_{kFe} (30–40)	<u>4,69</u> 0,19	<u>8,16</u> 0,20	<u>6,36</u> 0,15	<u>0,36</u> 0,02	нет	<u>14,25</u> 0,68	<u>4,60</u> 0,16
III_{kFe} (49–55)	<u>3,62</u> 0,14	<u>11,13</u> 0,27	<u>13,99</u> 0,32	<u>0,60</u> 0,04	нет	<u>20,50</u> 0,98	<u>7,64</u> 0,27
IV_{kFe} (63–73)	<u>2,84</u> 0,11	<u>11,41</u> 0,27	<u>1,36</u> 0,03	<u>0,37</u> 0,02	нет	<u>11,25</u> 0,54	<u>3,99</u> 0,14
V_{kFe} (85–95)	<u>4,73</u> 0,19	<u>6,65</u> 0,16	<u>6,07</u> 0,14	<u>0,50</u> 0,03	нет	<u>13,75</u> 0,66	<u>3,20</u> 0,11

Вариант 2

Солончак гидроморфный

Горизонт, глубина, см	Катионы, $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ %			Анионы, $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ г п %			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-
Корка (0–0,5)	<u>4,88</u> 0,20	<u>96,75</u> 2,30	<u>18,26</u> 0,41	<u>37,20</u> 2,27	<u>24,00</u> 0,72	<u>20,50</u> 0,98	<u>38,19</u> 1,34
I_k (2–12)	<u>1,45</u> 0,06	<u>2,60</u> 0,06	<u>16,47</u> 0,38	<u>1,08</u> 0,07	нет	<u>16,00</u> 0,77	<u>3,44</u> 0,12
II_k (20–30)	<u>0,30</u> 0,01	<u>0,45</u> 0,01	<u>3,67</u> 0,08	<u>0,87</u> 0,05	нет	<u>3,00</u> 0,14	<u>0,55</u> 0,02
III_k (35–40)	<u>0,56</u> 0,02	<u>0,57</u> 0,01	<u>5,23</u> 0,12	<u>0,97</u> 0,06	нет	<u>4,50</u> 0,22	<u>0,89</u> 0,03
IV_k (70–80)	<u>0,48</u> 0,02	<u>2,47</u> 0,06	<u>15,71</u> 0,36	<u>1,13</u> 0,07	нет	<u>16,25</u> 0,78	<u>1,28</u> 0,04

Вариант 3

Солончак гидроморфный

Горизонт, глубина, см	Катионы, мг·экв/100 %			Анионы, мг·экв/100 г п %			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Корка (0–0,3)	<u>11,00</u>	<u>0,42</u>	<u>40,58</u>	<u>24,93</u>	<u>11,0</u>	<u>4,37</u>	<u>11,7</u>
	1,33	0,01	0,93	1,52	0,33	0,21	0,41
I _к (5–10)	<u>1,00</u>	<u>0,42</u>	<u>6,62</u>	<u>4,85</u>	<u>2,00</u>	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>
	0,03	0,01	0,15	0,30	0,06	0,03	0,02
II _к (25–35)	<u>1,00</u>	<u>0,83</u>	<u>6,83</u>	<u>4,47</u>	<u>3,00</u>	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>
	0,03	0,02	0,16	0,27	0,09	0,03	0,02
III _к (60–70)	<u>0,67</u>	<u>0,42</u>	<u>6,05</u>	<u>3,44</u>	<u>2,30</u>	<u>0,83</u>	<u>0,57</u>
	0,02	0,01	0,14	0,21	0,07	0,04	0,02

Вариант 4

Аллювиальная лугово-болотная

Горизонт, глубина, см	Катионы, мг·экв/100 %			Анионы, мг·экв/100 г п %			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
A _к (0–10)	<u>0,90</u>	<u>0,83</u>	<u>2,21</u>	<u>1,60</u>		<u>2,10</u>	<u>0,24</u>
	0,04	0,02	0,05	0,10	нет	0,10	0,01
A _{к.пер} (10–20)	<u>1,70</u>	<u>1,03</u>	<u>2,61</u>	<u>2,30</u>		<u>2,50</u>	<u>0,54</u>
	0,07	0,02	0,06	0,14	нет	0,12	0,02
A _к (20–30)	<u>1,53</u>	<u>1,45</u>	<u>0,94</u>	<u>1,46</u>		<u>2,20</u>	<u>0,26</u>
	0,06	0,03	0,02	0,09	нет	0,11	0,01
A _к (30–40)	<u>1,45</u>	<u>0,65</u>	<u>2,03</u>	<u>1,74</u>		<u>2,00</u>	<u>0,39</u>
	0,06	0,02	0,05	0,11	нет	0,10	0,01
B _к (50–60)	<u>0,94</u>	<u>0,36</u>	<u>2,01</u>	<u>1,08</u>		<u>2,00</u>	<u>0,23</u>
	0,04	0,01	0,05	0,07	нет	0,10	0,01
B _к (70–80)	<u>0,87</u>	<u>0,37</u>	<u>1,89</u>	<u>1,02</u>		<u>1,90</u>	<u>0,21</u>
	0,03	0,01	0,04	0,06	нет	0,09	0,01
C _{Дк} (90–100)	<u>1,35</u>	<u>0,15</u>	<u>1,45</u>	<u>1,58</u>		<u>1,20</u>	<u>0,17</u>
	0,05	0,03	0,03	0,10	нет	0,06	0,01

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные типы засоления.
2. Охарактеризуйте основные типы засоления.
3. Какое влияние оказывают процессы засоления на функции почв?
4. Какие соли переходят в водную вытяжку?
5. Перечислите катионы и анионы, определяемые в водной вытяжке.
6. Дайте определение понятию «солевой профиль почв».

Практическая работа № 6

**Степень и химизм засоления,
запас водорастворимых солей в почве**

Цель: познакомиться с методикой расчета запаса водорастворимых солей в почве.

Справочно-информационный материал

Основным методом оценки направленности современных процессов соленакопления в почвах является почвенная солевая съемка. С ее помощью осуществляют пространственную оценку характера и степени проявлений процессов засоления (и осолонцевания) на орошаемых, выведенных из орошения и прилегающих к ним землях (Руководство ..., 2017).

При проведении почвенно-солевых съемок необходимо получить следующие сведения:

- а) химизм (тип) засоления по составу анионов и катионов;
- б) степень засоления почв (на основании определения в водной вытяжке из почв и пород общего содержания солей или содержания токсичных солей в зависимости от типа засоления);
- в) глубину залегания первого солевого горизонта;
- г) средневзвешенное содержание и запасы солей;
- д) гидрохимический тип (по анионному и катионному составу) и минерализацию грунтовых вод (пресная – до 1 г/дм³; слабоминерализованная – 1–3; среднесолоноватая – 3–5; сильносолоноватая – 5–10; соленая – 10–35; рассол – более 35 г/дм³);
- е) пригодность поливных вод для орошения по опасности засоления почвы и др.

Определение степени и химизма засоления почвы

Результаты исследования водной вытяжки используют, прежде всего, для установления степени засоленности почв. По степени засоления почвы подразделяют на слабо-, средне-, сильно- и очень сильно засоленные (табл. 6–1). Классификации засоления почв по степени засоления разработаны как на

основе общего содержания солей, переходящих в водную вытяжку, так и на основе содержания токсичных солей.

Т а б л и ц а 6–1

Степень засоления почв по общему содержанию солей (%)
(Интерпретация... 2000)

Степень засоления	Содержание солей, %
Незасоленные	<0,30
Слабозасоленные	0,30–0,50
Среднезасоленные	0,50–1,0
Сильнозасоленные	1,0–2,0
Очень сильнозасоленные (в т. ч. солончаки)	>2,0

Кроме того, результаты анализа водной вытяжки дают возможность установить химизм (тип) засоления.

Качественная характеристика этому процессу дается в первую очередь по составу анионов. Различают: хлоридный, сульфатно-хлоридный, сульфатный, хлоридно-сульфатный и содово-сульфатный типы засоления и т.д. (табл. 6–2). Кроме того, подобным образом может быть охарактеризован и катионный состав.

Тип засоления получает соответствующее название по горизонту максимального соленакопления.

Химизм засоления позволяет косвенно судить о направленности процессов засоления-рассоления. Для этого используют соотношение $Cl^-:SO_4^{2-}$. Ионы хлора более подвижны, соединения его более растворимы, нежели сульфаты. При движении почвенных растворов хлориды опережают в своем движении сульфаты. Если отношение хлорида к сульфатам в поверхностном слое почвы выше, чем в грунтовых водах, то это свидетельствует о прогрессирующем засолении. Если отношение хлоридов к сульфатам в поверхностном слое почвы ниже, чем в грунтовых водах, т.е. имеет место накопление сульфатов в почве, то это свидетельствует об остаточном или перемежающемся засолении (например, при пульсирующем водном режиме).

**Типы засоления почв по анионному
и катионному составу солей (Классификация... 1977)**

Тип засоления	Отношение анионов, мг·экв			Отношение катионов и анионов, мг·экв
	Cl ⁻ : SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ : Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ : SO ₄ ²⁻	
Хлоридное и сульфатно-хлоридное	1–2,5 и выше	–	–	–
Хлоридно-сульфатное	0,2–1,0	–	–	–
Сульфатное	<0,2	–	–	–
Содово-хлоридное	>1	<1	>1	HCO ₃ ⁻ > Σ(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)
Содово-сульфатное	<1	>1	<1	–
Хлоридно-содовое	>1	>1	>1	–
Сульфатно-содовое	<1	>1	>1	–
Сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатное (щелочноземельное)	–	>1	>1	Na ⁺ < Ca ²⁺ Na ⁺ < Mg ²⁺ HCO ₃ ⁻ > Na ⁺

Расчет запаса водорастворимых солей

Для разработки агромерелиоративных мероприятий на засоленных почвах большое значение имеет величина общего запаса водорастворимых солей в отдельных горизонтах почвы. Для вычисления запаса солей необходимо знать объемную массу почвы, мощность горизонта (или слоя), а также процентное содержание в нём плотного остатка (можно использовать сумму солей). Запас вычисляют для верхнего и других горизонтов (слоев) почвы на заданную глубину или для всего почвенного профиля, для чего сначала вычисляют запас солей в каждом горизонте (слое), а затем суммируют полученные данные.

Запас солей вычисляют в килограммах на квадратный метр площади по формуле:

$$S = \frac{(p \cdot h \cdot O)}{10}, \text{ кг/м}^2 \quad (1)$$

где: p – объемный вес почвы, г/см³; h – мощность горизонта (слоя), см; O – содержание плотного остатка (суммы солей), %.

При определении типа засоления почв по анионному и катионному составу можно руководствоваться их соотношениями в водной вытяжке в соответствии с параметрами, приведенными в табл. 6–2.

Задание 1

Определение степени и химизма засоления почв

1. Определить степень засоления почвы, используя таблицу 6–1. Для этого необходимо рассчитать сумму солей (%) для каждого горизонта почвы в предложенном варианте работы.

2. Установить химизм (тип) засоления, используя табл. 6–2. Для этого необходимо рассчитать отношения анионов $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-}$, $\text{HCO}_3^- : \text{Cl}^-$ и $\text{HCO}_3^- : \text{SO}_4^{2-}$ для каждого горизонта почвы в предложенном варианте работы и сравнить полученные данные с табличными.

3. Проанализировать полученный результат.

4. Сформулировать вывод по заданию.

Вариант 1

Солончак гидроморфный (Родикова, 2007)

Горизонт, глубина, см	Катионы, $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$			Анионы, $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$				Σ солей, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	
I_k (5–15)	<u>4,45</u> 0,18	<u>23,83</u> 0,57	<u>8,72</u> 0,20	<u>0,50</u> 0,03	нет	<u>20,50</u> 0,98	<u>16,00</u> 0,56	
II_{kFe} (30–40)	<u>4,69</u> 0,19	<u>8,16</u> 0,20	<u>6,36</u> 0,15	<u>0,36</u> 0,02	нет	<u>14,25</u> 0,68	<u>4,60</u> 0,16	
III_{kgFe} (49–55)	<u>3,62</u> 0,14	<u>11,13</u> 0,27	<u>13,99</u> 0,32	<u>0,60</u> 0,04	нет	<u>20,50</u> 0,98	<u>7,64</u> 0,27	
IV_{kgFe} (63–73)	<u>2,84</u> 0,11	<u>11,41</u> 0,27	<u>1,36</u> 0,03	<u>0,37</u> 0,02	нет	<u>11,25</u> 0,54	<u>3,99</u> 0,14	
V_{kgFe} (85–95)	<u>4,73</u> 0,19	<u>6,65</u> 0,16	<u>6,07</u> 0,14	<u>0,50</u> 0,03	нет	<u>13,75</u> 0,66	<u>3,20</u> 0,11	

Вариант 2

Солончак гидроморфный

Горизонт, глубина, см	Катионы, мг·экв %			Анионы, мг·экв %				Σсолей, %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Корка (0–0,3)	<u>11,00</u>	<u>0,42</u>	<u>40,58</u>	<u>24,93</u>	<u>11,0</u>	<u>4,37</u>	<u>11,70</u>	
	1,33	0,01	0,93	1,52	0,33	0,21	0,41	
I _к (5–10)	<u>1,00</u>	<u>0,42</u>	<u>6,62</u>	<u>4,85</u>	<u>2,00</u>	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>	
	0,03	0,01	0,15	0,30	0,06	0,03	0,02	
II _к (25–35)	<u>1,00</u>	<u>0,83</u>	<u>6,83</u>	<u>4,47</u>	<u>3,00</u>	<u>0,62</u>	<u>0,57</u>	
	0,03	0,02	0,16	0,27	0,09	0,03	0,02	
III _к (60–70)	<u>0,67</u>	<u>0,42</u>	<u>6,05</u>	<u>3,44</u>	<u>2,30</u>	<u>0,83</u>	<u>0,57</u>	
	0,02	0,01	0,14	0,21	0,07	0,04	0,02	

Вариант 3

Аллювиальная лугово-болотная

Горизонт, глубина, см	Катионы, мг·экв/100 г %			Анионы, мг·экв/100 г почвы %				Σсо- лей, %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
A _к (0–10)	<u>0,90</u>	<u>0,83</u>	<u>2,21</u>	<u>1,60</u>		<u>2,10</u>	<u>0,24</u>	
	0,04	0,02	0,05	0,10	нет	0,10	0,01	
A _{к.пер} (10–20)	<u>1,70</u>	<u>1,03</u>	<u>2,61</u>	<u>2,30</u>		<u>2,50</u>	<u>0,54</u>	
	0,07	0,02	0,06	0,14	нет	0,12	0,02	
A _к (20–30)	<u>1,53</u>	<u>1,45</u>	<u>0,94</u>	<u>1,46</u>		<u>2,20</u>	<u>0,26</u>	
	0,06	0,03	0,02	0,09	нет	0,11	0,01	
A _к (30–40)	<u>1,45</u>	<u>0,65</u>	<u>2,03</u>	<u>1,74</u>		<u>2,00</u>	<u>0,39</u>	
	0,06	0,02	0,05	0,11	нет	0,10	0,01	
B _к (50–60)	<u>0,94</u>	<u>0,36</u>	<u>2,01</u>	<u>1,08</u>		<u>2,00</u>	<u>0,23</u>	
	0,04	0,01	0,05	0,07	нет	0,10	0,01	
B _к (70–80)	<u>0,87</u>	<u>0,37</u>	<u>1,89</u>	<u>1,02</u>		<u>1,90</u>	<u>0,21</u>	
	0,03	0,01	0,04	0,06	нет	0,09	0,01	
CД _к (90–100)	<u>1,35</u>	<u>0,15</u>	<u>1,45</u>	<u>1,58</u>		<u>1,20</u>	<u>0,17</u>	
	0,05	0,03	0,03	0,10	нет	0,06	0,01	

Солончак гидроморфный

Горизонт, глубина, см	Катионы, мг·экв/100 г %			Анионы, мг·экв/100 г %				Σ солей, %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Корка (0–0,5)	<u>4,88</u> 0,20	<u>96,75</u> 2,30	<u>18,26</u> 0,41	<u>37,20</u> 2,27	<u>24,00</u> 0,72	<u>20,50</u> 0,98	<u>38,19</u> 1,34	
I _к (2–12)	<u>1,45</u> 0,06	<u>2,60</u> 0,06	<u>16,47</u> 0,38	<u>1,08</u> 0,07	нет	<u>16,00</u> 0,77	<u>3,44</u> 0,12	
II _к (20–30)	<u>0,30</u> 0,01	<u>0,45</u> 0,01	<u>3,67</u> 0,08	<u>0,87</u> 0,05	нет	<u>3,00</u> 0,14	<u>0,55</u> 0,02	
III _к (35–40)	<u>0,56</u> 0,02	<u>0,57</u> 0,01	<u>5,23</u> 0,12	<u>0,97</u> 0,06	нет	<u>4,50</u> 0,22	<u>0,89</u> 0,03	
IV _к (70–80)	<u>0,48</u> 0,02	<u>2,47</u> 0,06	<u>15,71</u> 0,36	<u>1,13</u> 0,07	нет	<u>16,25</u> 0,78	<u>1,28</u> 0,04	

Задание 2 Расчет запаса водорастворимых солей. Рассчитать сумму солей (плотный остаток) для почвы в предложенном варианте (5–7) работы.

1. Определить запас солей в каждом почвенном горизонте (для горизонтов с заданной мощностью), используя формулу (1) и суммарный запас солей для горизонтов профиля.

2. Сформулировать вывод по заданию.

Вариант 5

Лугово-черноземная

Мощность горизонтов: Ак = 28 см; АВк = 20 см; Вк = 40 см; ВСк_{к_е} = 31 см.

Горизонт, глубина	Катионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100}$			Анионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100 \text{ г}}$				ρ , $\text{г}/\text{см}^3$
	%			%				
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	
Ак (5–10)	0,04	0,010	0,01	0,07	0,00	0,01	0,01	1,16
АВк (32–42)	0,05	0,010	0,02	0,06	0,00	0,07	0,01	1,28
Вк (60–70)	0,04	0,003	0,04	0,05	0,00	0,12	0,02	1,29
ВСк _{к_е} (95–105)	0,08	0,110	0,05	0,04	0,00	0,35	0,02	1,46

Вариант 6

Чернозем южный

Мощность горизонтов: Ак = 20 см; АВк = 11 см; Вк = 17 см; ВСк = 92 см.

Горизонт, глубина, см	Катионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100}$			Анионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100 \text{ г}}$				ρ , $\text{г}/\text{см}^3$
	%			%				
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	
Ак (5–15)	0,06	0,040	0,04	0,07	0,00	0,09	0,008	0,98
АВк (21–30)	0,05	0,020	0,15	0,06	0,08	0,34	0,010	1,09
Вк (35–45)	0,03	0,013	0,39	0,06	0,08	0,80	0,010	1,34
ВСк (80–90)	0,02	0,007	0,18	0,13	0,21	0,27	0,010	1,43
ВСк (110–120)	0,02	0,001	0,17	0,09	0,14	0,28	0,020	Не опр

Чернозем южный

Мощность горизонтов: Апахк = 23 см; В1к = 17 см; В2к = 21 см; ВСк = 20 см; Ск = 21 см.

Горизонт, глубина, см	Катионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100}$ %			Анионы, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{100 \text{ г}}$ %				ρ , г/см ³
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Апахк (5–15)	0,06	0,066	0,14	0,06	0,00	0,32	0,01	1,24
В1к (26–36)	0,03	0,002	0,09	0,05	0,02	0,18	0,01	1,36
В2к (45–55)	0,04	0,019	0,16	0,05	0,04	0,34	0,02	1,23
ВСк (70–80)	0,03	0,008	0,20	0,06	0,04	0,42	0,01	Не опр.
Ск (90–100)	0,02	0,018	0,23	0,06	0,05	0,46	0,01	1,31

Контрольные вопросы и задания

1. Для каких комплексных почвенных работ необходимы сведения о типе и степени засоления, а также запасе водорастворимых солей?

2. Какие параметры необходимы для расчета запаса водорастворимых солей в почве?

3. Назовите градации почв по степени засоления.

4. По какому горизонту устанавливается степень засоления почвы?

5. Чем отличается хлоридно-сульфатный тип засоления от сульфатно-хлоридного?

Практическая работа № 7

Загрязнение почв пестицидами

Цель: познакомиться с методами оценки загрязнения почв сельскохозяйственных угодий пестицидами.

Справочно-информационный материал

Согласно ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19 июля 1997 года N 109-ФЗ, к пестицидам относят химические или биологические препараты, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорными растениями, вредителями хранящейся сельскохозяйственной продукции, бытовыми вредителями и внешними паразитами животных, а также для регулирования роста растений, предуборочного удаления листьев (дефолианты), предуборочного подсушивания растений (десиканты).

Большинство пестицидов относится к синтетическим химическим соединениям – ***ксенобиотикам***, т.е. к веществам, чуждым биосфере (от греч. *xenos* – чужой). Они еще до сравнительно недавнего времени отсутствовали на планете, что осложняет процесс их детоксикации. При возрастающих объемах применения пестицидов их остатки или продукты метаболизма могут накапливаться в объектах окружающей природной среды, мигрировать по пищевым цепям и вызывать нежелательные последствия, негативно влияя на качество питьевой воды, и т.д. Пестициды очень токсичны, в связи с этим ВОЗ установлены пороговые уровни их допустимых концентраций.

Подавляющее число этих соединений – кумулятивные яды, токсичное действие которых зависит не только от концентрации, но и от длительности воздействия. Так, в процессе биоаккумуляции происходит многократное (до сотен тысяч раз) повышение концентрации пестицида по мере продвижения его по пищевым цепям. Загрязнение сельскохозяйственной продукции связано, в основном, с нарушением правил и регламентов использования препаратов. Примерно 70% применяемых соедине-

ний попадает в организм человека с молоком, яйцами и мясом, остальные 30% приходятся на растительную пищу.

ПДК пестицидов (химических средств защиты растений, ХСЗР) в окружающей среде для различных ее компонентов определены гигиеническими нормативами РФ (ГН 1.2.3539–18).

Среди обширной группы пестицидов выделяют многочисленные подгруппы направленного действия:

<i>Авиациды</i>	<i>Инсектициды</i>
<i>Акарициды</i>	<i>Ихтиоциды</i>
<i>Альгициды</i>	<i>Кишечные инсектициды</i>
<i>Арборициды</i>	<i>Контактные пестициды</i>
<i>Афициды</i>	<i>Моллюскоциды</i>
<i>Бактерициды</i>	<i>Нематоциды</i>
<i>Гаметоциды</i>	<i>Ратициды</i>
<i>Гербициды</i>	<i>Регуляторы роста растений</i>
<i>Гермициды</i>	<i>Ретарданты</i>
<i>Десиканты</i>	<i>Родентициды</i>
<i>Дефолианты</i>	<i>Фунгистатики</i>
<i>Зооциды</i>	<i>Фунгициды</i>

Кроме того, пестициды классифицируют по составу и химическим свойствам, устойчивости к разложению, токсичности, способности к биоаккумуляции.

В результате процесса деградации пестициды разлагаются в объектах окружающей среды с образованием простейших химических соединений, не представляющих опасности для человека и других живых организмов. Время деградации определяется *периодом полураспада* – периодом распада в почве и др. средах. Чаще всего данное значение характеризует потерю веществом пестицидных свойств на 50%. Свойства стойкости в окружающей среде и способность к биоаккумуляции ХСЗР обусловлены химической структурой и физико-химическими свойствами препаратов. Наиболее стойкими, но обладающими выраженными кумулятивными свойствами являются хлороргани-

ческие вещества, для которых характерно концентрирование в последующих звеньях пищевых цепей.

По устойчивости к разложению в почве пестициды подразделяются следующим образом (Куликов, 2012):

- очень стойкие (время разложения на нетоксичные компоненты составляет свыше 2 лет);
- стойкие (от полугода до 2 лет);
- умеренно стойкие (до 6 месяцев);
- малостойкие (1 месяц).

Токсичность ХЗСЗ обычно сравнивают сопоставлением минимальных доз, вызывающих смертность 50% подопытной группы организмов; эти дозы обозначают символом ЛД₅₀.

По токсичности для человека и теплокровных животных пестициды подразделяют (Куликов, 2012):

- на сильнодействующие – ЛД₅₀ до 50 мг/кг живой массы (бромистый метил и др.);
- высокотоксичные – ЛД₅₀ до 200 мг/кг (базудин и др.);
- среднетоксичные – ЛД₅₀ до 1000 мг/кг (медный купорос и др.);
- малотоксичные – ЛД₅₀ более 1000 мг/кг (бордоская жидкость, витавакс, диален, неорон, сера и др.).

В настоящее время разработаны математические методы, позволяющие прогнозировать опасность накопления того или иного пестицида в агроэкосистеме.

При полевом отборе образцов почвы на содержание пестицидов необходимо придерживаться правил, прописанных в нормативных руководствах. В основном для определения пестицидов в почвах используются, как правило, методы хроматографии, описанные в соответствующих нормативных документах.

Задание 1

Используя специальную литературу найдите определения различных пестицидов направленного действия (список представлен в справочно-информационном материале практической

работы). Рядом с каждым определением проставьте ссылку на источник.

Задание 2

Определить класс загрязнения территории пестицидами при возделывании сахарной свеклы Льговская–52 путем расчета агроэкотоксикологического индекса (Герасименко, 2009).

Исходные данные: почва: темно-серая лесная; табл. 7–1, $u = 0,6$ (u – способность почвы к самоочищению в баллах, см. далее по задаче)

Т а б л и ц а 7–1

Химические средства защиты растений при возделывании сахарной свеклы (Герасименко, 2009)

Хим. средства	Форма препарата	Расход пестицида, кг/га	Кратность обработки	Химических средств на 1 га	Общая масса пестицидов, кг
1	2	3	4	5	6
1 вариант (F=180 га)					
Инсектициды					
Антио	25% КЭ	1,6	1	1,6	
ГХЦГ	12% дуст	20	1	20	
Золон	35% КЭ	3,5	1	3,5	
ПХК	50% КЭ	3	2	6	
Хлорофос	80% СП	2	2	4	
Фунгициды					
Гранозан	2% дуст	0,06	1	0,06	
Бордоская жидкость	1% С	8	1	8	
Сера коллоидная	80% СП	6	1	6	
ЦИНЕБ	80% СП	4	1	4	
Гербициды					
Батанал	16% КЭ	8	1	8	
ТХА	90% РП	20	1	20	
Эптам	72%КЭ	8	1	8	
Итого					

2 вариант (F=180 га)					
Инсектициды					
Би-58	40% КЭ	0,9	1	0,9	
Карагэ	5% КЭ	0,15	1	0,15	
Фастак	10% КЭ	0,1	1	0,1	
Фурадан	35% ТП	0,21	1	0,21	
Фунгициды					
ТМТД	80% СП	0,036	1	0,036	
Арцерид	60% СП	2	1	2	
Скор	25% КЭ	0,4	1	0,4	
Гербициды					
Бетанал АМ	82% КЭ	0,33	1	0,33	
Фюзилад С	12,5% КЭ	1	1	1	
Лонтрел	30% ВР	0,12	1	0,12	
Итого					

В настоящее время химические средства защиты растений, указанные в 1-м варианте, практически не используются, а применение дуста в наши дни запрещено.

Форма препаратов (пояснение к табл. 7-1): КЭ – концентрат эмульсии; КС – концентрат суспензии; ВР – водный раствор; ТП – текучая паста; СП – смазывающийся порошок; РП – порошок, растворимый в воде; С – суспензия; Дусты (порошки для опыливания и опудривания) – одна из наиболее распространенных форм (в недалеком прошлом) применения препаратов. В состав таких порошков обычно входят пестициды в количествах от долей до нескольких процентов, чаще всего до 10%; наполнитель (талк, пирофиллит, каолин и различные смеси минералов), а также (в некоторых случаях) вещество, способствующее удержанию (прилипанию) препарата на организме.

Решение

1. Установить степень опасности пестицида (Сп, баллы) (формула [1]). При этом значения класса опасности пестицида для человека (Кч) находим по табл. 7-2 (графа 2), а для природы (Кп) в графе 3 табл. 7-2.

$$Сп = (Кч + Кп) - 1. \quad (1)$$

Таблица 7-2

Класс опасности некоторых пестицидов (в баллах)

Пестициды	Класс опасности для	
	человека, Кч	окружающей среды, Кп
Антио	2	4
ГХЦГ	2	2
Золон	2	3
ПХК	2	1
Хлорофос	2	3
Гранозан	1	1
Бордоская жидкость	2	3
Сера коллоидная	4	4
ЦИНЕБ	2	2
Батанал	3	3
ТХА	3	3
Эптам	3	3
Би-58	2	4
Каратэ	2	2
Фастак	2	2
Фурадан	1	2
ТМТД	2	2
Арцерид	3	3
Скор	4	4
Бетанал АМ	3	3
Лонтрел	4	4
Фюзилад С	4	4

Результаты расчетов внести в табл. 7-3.

Таблица 7-3

Степень опасности пестицида

Пестицид	Сп	Пестицид	Сп
1 вариант		2 вариант	
Антио		Би-58	
ГХЦГ		Каратэ	
Золон		Фастак	
ПХК		Фурадан	
Хлорофос		ТМТД	
Гранозан		Арцерид	

Пестицид	Сп	Пестицид	Сп
Бордоская жидкость		Скор	
Сера коллоидная		Бетанал АМ	
ЦИНЕБ		Лонтрел	
Батанал		Фюзилад С	
ТХА			
Эптам			

2. Найти массу каждого внесенного пестицида на исследуемой площади (произведение площади посева (по вариантам) на количество внесенного хим. средства на га (графа 5); внести в табл. 7-1, графу 6), общая масса пестицидов – итог суммирования всех масс (итого в табл.)

3. Рассчитать средневзвешенную степень опасности ассортимента пестицидов ($C_{ср}$) (формула [2]).

$$C_{ср} = \frac{C_{п1} \cdot m_1 + C_{п2} \cdot m_2 + \dots + C_{пи} \cdot m_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i}, \quad (2)$$

где: $C_{п1}, C_{п2} \dots C_{пи}$ – степень опасности i -го пестицида в баллах; $m_1, m_2, \dots m_i$ – масса i -го внесенного пестицида (кг) на возделываемой площади.

4. Экотоксикологическая доза ($D_{п}$, кг/га) вычисляется по формуле [3]:

$$D_{п} = \sum_1^n m_i / F, \quad (3)$$

где: \sum – общая масса внесенных пестицидов, кг; F – площадь, га.

5. Прогноз загрязнения почвы пестицидами ($Pз$, усл. кг/га) по формуле [4]:

$$Pз = D_{п} / (C_{ср} \cdot u), \quad (4)$$

где: u – способность почвы к самоочищению в баллах.

Данный параметр отражает интенсивность деструкции пестицидов в зависимости от почвенно-климатических условий.

Изменяется от 0,1 балла для сухих степей и солончаков до 1 балла для окультуренных черноземов в зоне достаточного увлажнения.

Градации способности почвы к самоочищению в баллах (и)

<i>и</i>	Градации
<0,2	Очень слабая
0,2–0,4	Слабая
0,41–0,6	Умеренная
0,61–0,8	Интенсивная
>0,8	Очень интенсивная

6. Вычислить агроэкотоксикологический индекс ($A_{и}$) по формуле [5]:

$$A_{и} = \frac{10 \cdot Пз \cdot (1 + Пз)^3}{(1 + Пз)^4 + 5000}. \quad [5]$$

Определить класс загрязнения территории по рассчитанному $A_{и}$

Градации классов загрязнения территории

$A_{и}$	Классы загрязнения территории
<1	малоопасное
1–4	среднеопасное
5–7	повышенной опасности
>7	высокоопасное

7. Вывод по работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «пестициды».
2. По каким критериям классифицируются ХСЗР?
3. Какие вещества называют ксенобиотиками?
4. Какие пестициды направленного действия Вам известны?
5. Дайте определение понятию «период полураспада пестицида».

**Оценка загрязнения нефтью водоемов,
используемых для орошения
сельскохозяйственных угодий**

Цель: познакомиться с методом оценки загрязнения нефтью водоемов – источников влаги для сельскохозяйственных угодий.

Справочно-информационный материал

Водные объекты – источники воды для сельскохозяйственных полей, при этом нефть, и особенно – нефтепродукты, являются опаснейшими загрязнителями. Нефтепродукты состоят из тех же компонентов, что и нефть, но они имеют свои особенности, связанные с технологией производства. Деструктивные способы получения ряда видов нефтепродуктов увеличивают в них содержание непредельных углеводородов и канцерогенных соединений, нехарактерных для природной нефти. Это делает многие нефтепродукты экологически более вредными, чем сырая нефть. Тем не менее, попадание больших масс нефти на почву и в водоемы приводит к резкой трансформации и/или гибели экосистем.

Экологический ущерб от загрязнения почв углеводородами значителен: нарушаются структура, водный и солевой режим почв, соотношение и подвижность в них химических элементов, трансформируется почвенный биоценоз, деградирует наземная растительность, загрязняются поверхностные и грунтовые воды, приземная атмосфера (Пиковский и др., 2014).

Одна тонна нефти покрывает площадь водного резервуара до 12 км². Не менее опасными в этом отношении являются ее производные (табл. 8–1): медленнее всего из них растекается мазут, занимая, соответственно, меньшую площадь.

**Расчетные характеристики аварийных разливов нефтепродуктов
за 2 часа при штиле (Герасименко, 2009)**

Нефтепродукт	Радиус пятна, м*	Скорость растекания, м/с**
Мазут	7–2155	0,001–0,3
Дизельное топливо	16–5154	0,002–0,7
Бензин	19–5894	0,003–0,8

* – при объеме разлива от 01 до 10 000 м³;

** – при температуре 0°С и 20°С

Оценка дрейфа масляных пленок (от аварийных разливов) особенно актуальна на мелководьях, так как на глубинах около двух метров и менее убрать нефть сложнее технически.

Нефть в определенных условиях и дозах может благотворно влиять на живое вещество, однако в результате появления пленки в воде снижается содержание кислорода и начинают бурно развиваться анаэробные бактерии. Наиболее опасно долгое нахождение в воде тяжелых нефтепродуктов, содержащих токсичные компоненты. Легкие нефтепродукты оказывают сильное, но кратковременное токсичное влияние на живые организмы. Автотрофы, выжившие после первого залпового удара и испытавшие наркотическое воздействие, относительно быстро восстанавливаются в ходе самоочищения среды (Пиковский и др., 2014).

Нефтепродукты все же подвержены разложению, но его скорость зависит от ряда причин:

- *температура воды*: аэробное разложение нефтепродуктов начинается только при положительных температурах (+5°С и выше), в связи с чем расстояние, на которое распространяются нефтепродукты зимой может быть больше, чем летом;

- *наличие в воде кислорода и биогенных веществ*: при дефиците этих составляющих скорость процесса может уменьшаться более чем в восемь раз;

- *химический состав нефтепродуктов*: наибольшую опасность представляют тяжелые фракции нефти, т.к. они могут

оседать на дно, где разложение их протекает очень медленно; в целом, нефть содержит более 60 химических элементов;

- *степень контакта нефтепродуктов с водной средой*, т.е. наличие или отсутствие стратификации нефтепродуктов в водотоке, а также степень дисперсности эмульгированной части нефтепродуктов;

- *наличие в воде высшей растительности*.

Влияние последнего фактора может увеличить скорость самоочищения водотока от нефти до 10 раз. Скорость окисления нефтяной пленки за вегетационный период составляет 240 мг/м². В зимнее время воздействие нефти на окружающую среду имеет свою специфику: растительности и почвам будет нанесен меньший вред, чем летом, несмотря на то, что зимой общая эффективность самоочищения от пленок сырой нефти в три раза меньше. Основную роль в этом процессе играет испарение со льда и снега – 50–80% и фотоокисление 15–35%. Нефть, кроме того, весьма активно взаимодействует со льдом, который способен поглощать ее до ¼ своей массы.

В целом, разложение нефти идет очень медленно, полный ее распад происходит примерно за 150 дней.

Значительная группа полициклических углеводородов, находящихся в сырой нефти, попавшей в водоемы, губительно воздействует на рыб и другие организмы. Кроме того, на обитателей нефть оказывает механическое воздействие, препятствующее движению, питанию и дыханию. Потребление этого каустобиолита с кормом сказывается на снижении численности промысловых видов рыб. Загрязнение вод продуктами переработки нефти отражается на развитии икры и мальков рыб, на численности и видовом составе кормовых ресурсов рек, на качестве и пригодности в пищу рыбы. Содержание нефти в воде выше 0,1 мг/л придает мясу рыб неустранимый ни при каких технологических обработках привкус и специфический запах. По существующим нормативам качества вод водоемов рыбохозяйственного значения на поверхности водного зеркала водных объектов в зоне антропогенного воздействия не должны обна-

руживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей. ПДК нефти не должна превышать 0,05 мг/л (Приказ... 2016). В водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования установленная ПДК составляет 0,1–0,3 мг/л (ГН 2.1.5.1315–03). Однако, даже в концентрациях, значительно ниже ПДК, нефть обладает выраженным мутагенным и ингибирующим действиями. Некоторые ее компоненты вызывают судороги, отравления, кожные заболевания. Токсичными могут быть, например, ароматические углеводороды, сернистые соединения, некоторые металлы, находящиеся в достаточно высоких концентрациях в нефтяном растворе. Еще более токсичны нефтепродукты – разнообразные по составу и назначению вещества, полученные путем переработки нефти и газа (Герасименко, 2009; Пиковский и др., 2014).

Растения по отношению к нефтяному загрязнению обладают различной чувствительностью: у живого напочвенного покрова она выше, чем у лесообразующих пород. Растительность в пределах нефтяного пятна может погибнуть полностью или на 80% сразу или спустя 2–3 вегетационных периода. Пионерами зарастания свежих разливов нефти являются водоросли, мхи, осоки, вейники, хвощи, а из древесных пород – береза, осина, ива козья, сосна.

Глубина проникновения нефти в толщу почв при высоком стоянии уровня грунтовых вод на болотных участках обычно не превышает 5–7 м. В торфяно-болотных почвах нефть способна проникать на глубину 20–50 см, и, в основном, растекается в горизонтальном направлении.

Большую опасность нефтяные загрязнения представляют в незамкнутых низинных болотах и озерах, расположенных в поймах реки и на надпойменных террасах. В этих местах нефтяное загрязнение всегда будет вынесено в гидрографическую сеть и станет опасным для существования биогеоценозов, далеко расположенных от места разлива нефти. В связи с этим размещение нефтепроводов на этих ландшафтах необходимо допускать только в исключительных случаях. Предпочтительнее

прокладывать нефтепроводы на суходолах или в районах замкнутых котловин, в которых распространение нефтяного разлива будет сведено к минимуму.

Задание

Определить площадь водоема под нефтяной пленкой и время ее окисления.

Исходные данные:

- Площадь акватории водоема составляет 50 км^2
- Сброс нефти в водоем составил 3,5 т.
- Продолжительность теплого (вегетационного) периода (с температурой выше $+5^\circ\text{C}$) – 150 дней.

Решение

1. Определить площадь водоема, покрытого нефтяной пленкой (из теоретической части известна площадь покрытия одной тонны нефти) (пропорцией).
2. Рассчитать сколько мг нефти приходится на 1 м^2 воды.
3. Определить время окисления нефтяной пленки (из теоретической части известна скорость окисления за вегетационный период) (пропорцией).
4. Сформулировать вывод.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите последствия разлива нефти (нефтепродуктов) на поверхности водоема.
2. От чего зависит скорость разложения нефти (нефтепродуктов)?
3. Назовите ПДК нефти в водоемах рыбохозяйственного значения и в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
4. Назовите примерную глубину проникновения нефти в торфяно-болотных почвах.
5. Перечислите рекомендации расположения нефтепроводов в различных ландшафтах для минимизации их воздействия.

Загрязнение агроэкосистем радионуклидами

Цель: познакомиться с одним из видов загрязнения почв агроэкосистем – загрязнение радионуклидами, и методом его оценки.

Справочно-информационный материал

Радиоактивность – это самопроизвольный распад ядра со строго определенной вероятностью, сопровождающийся ядерным излучением (Основы ..., 2009).

Скорость, с которой распадаются радионуклиды, определяется только степенью нестабильности их ядер и не зависит от любых факторов, обычно влияющих на скорость физических и химических процессов (давления, температуры и др.). Распад каждого ядра – событие случайное, однако, при наличии достаточно большого числа радиоактивных атомов он подчиняется *закону радиоактивного распада: за единицу времени распадается всегда одна и та же часть имеющихся в наличии ядер вещества.*

Активность – показатель, характеризующий число ядерных превращений за единицу времени.

Периодом полураспада ($T_{1/2}$) называется время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных атомов.

В настоящее время общепринятой является системная единица радиоактивности – **беккерель (Бк)**, равная одному распаду в секунду. До недавнего времени в качестве единицы радиоактивности использовали **кюри (Ки)** и производные кюри.

Кюри – внесистемная единица радиоактивности равная 37 000 000 000 распадов изотопа в секунду (т.е. 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк); первоначально Ки являлась единицей радиоактивности 1 г изотопа радия-236. В настоящее время используется только в России и некоторых странах СНГ.

Нуклид – вид атомов с данными числами протонов и нейтронов в ядре.

Радионуклид – нуклид, обладающий радиоактивностью (ГОСТ 15484–81).

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Особенностью радиоактивного загрязнения окружающей среды в отличие от загрязнения другими поллютантами является то, что вредное воздействие на человека и объекты оказывает не сам радионуклид (РН), а излучение, источником которого он является. Наличие радионуклидов в объектах окружающей среды и продуктах питания определяет потенциальную опасность облучения. Уровень реализации этой опасности определяется другой величиной – **дозой облучения**, которая оценивается для каждого организма индивидуально. Поскольку заражение человека может происходить и через продукцию сельского хозяйства, особым предметом внимания являются почвы, являющиеся звеном в цепочке продвижения загрязнителя. Основой для определения контрольных уровней загрязнения почв РН служат коэффициенты накопления или перехода радионуклидов из различных почв в сельскохозяйственные культуры, а также коэффициенты перехода РН по животноводческим цепочкам и допустимые удельные активности радионуклидов в пищевых продуктах (Герасименко, 2009).

Радионуклиды (РН) в почве как правило находятся в почвенном растворе и в составе твердой фазы. Их миграция приводит к перераспределению в латеральном и горизонтальном направлениях, способствует поступлению этих веществ в растения, в поверхностные и подземные воды. Движущие силы, вызывающие миграцию РН в почвах в природных условиях, весьма разнообразны по своей природе (табл. 9–1). К этим силам относятся: фильтрация атмосферных осадков в глубь профиля, капиллярное подтягивание влаги к поверхности в результате испарения, передвижение воды под действием градиента температуры, сток по поверхности почвы, диффузия свободных и ад-

сорбированных ионов, миграция на коллоидных частицах, перенос по корневым системам растений, роющая деятельность почвенных животных, хозяйственная деятельность человека (Прохоров, 1981).

Т а б л и ц а 9–1

**Классификация факторов,
влияющих на подвижность радионуклидов в почве (Прохоров, 1981)**

Факторы, влияющие на подвижность радионуклидов в почве		
<i>Свойства радионуклидов</i>	<i>Свойства почвы</i>	<i>Погодно-климатические условия</i>
Знак заряда иона	Минералогический состав	Продолжительность сезона положительных температур
Величина заряда иона	Химический состав	Средние температуры года, сезона
Форма соединения	Гранулометрический состав	Годовое количество осадков
Способность к адсорбции	Плотность	Распределение осадков по сезонам года
Способность к комплексообразованию	Влажность	
Способность к гидролизу	Содержание и состав органического вещества	
	Кислотность	
	Емкость поглощения	
	Температура	
	Концентрация и состав почвенного раствора	

Содержание различных форм радионуклидов зависит от свойств почв: сорбционной емкости, минералогического состава, pH, содержания гумуса (табл. 9–1).

Степень экологической напряженности сельскохозяйственных систем определяется, в основном, долгоживущими радионуклидами: стронцием–90 и цезием–137. Радиационная обстановка на территориях государств также обуславливается содержанием этих РН. При этом период полураспада цезия–137 составляет 30,2 года; стронция–90 – 28,5 лет.

Плотность загрязнения почвы радионуклидами (т.е. содержание их в обследуемом слое почвы площадью 1 м² (P_{pn}, кБк/м²)) определяется по формуле:

$$P_{pn} = 0,001 \times C_{pn} \times z \times d, \quad (1)$$

где: 0,001 – коэффициент пересчета от Бк/м² на кБк/м²; C_{pn} – концентрация РН в почве, Бк/кг; z – слой почвы (глубина отбора), см; d – плотность сложения почвы, г/см³.

Задание

1. Рассчитать плотность загрязнения почв территории исследования ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, используя формулу [1].

Решение

1. Использовать исходные сведения, представленные в таблице 9–2.

2. Данные представить в виде таблицы (табл. 9–3):

3. Сравнить получившиеся значения с нормой (табл. 9–4).

Т а б л и ц а 9–2

Характеристика загрязнения почв радионуклидами (Герасименко, 2009)

Почва	Содержание РН, Бк/кг		Плотность сложения почвы, г/см ³	Глубина отбора, см
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr		
Чернозем типичный суглинистый	695	47,6	1,05	25
Луговая суходольная минеральная суглини- стая	790	56,0	1,30	30

Т а б л и ц а 9–3

Плотность загрязнения почв территории исследования ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr

Почва	P _{pn} , кБк/м ²	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Чернозем типичный суглинистый		
Луговая суходольная минеральная суглинистая		

**Эколого-токсикологическая оценка
радиоактивного загрязнения (Герасименко, 2009)**

Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²		Характеристика зон радиоактивного загрязнения
¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	
Менее 37	Менее 3,7	Экологически безопасная зона
37–185	3,7–11,1	Зона проживания людей с льготным социально-экономическим статусом
¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Характеристика зон радиоактивного загрязнения
186–555	11,2–37,0	Зона проживания с правом людей, получения компенсаций и льгот
556–1480	38,0–111,0	Зона отселения людей
Более 1480	Более 111	Зона изъятия земель из сельскохозяй- ственного производства и отселения людей

3. Сделать вывод о безопасности проживания людей на территории исследования.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое радиоактивность?
2. Назовите единицы радиоактивности. Охарактеризуйте их.
3. В чем заключается особенность загрязнения радионуклидами окружающей среды?
4. Назовите свойства почв, влияющие на миграцию радионуклидов.
5. Какие радионуклиды определяют степень экологической напряженности агроэкосистем? Назовите их период полураспада.

Оценка степени деградации почв

Цель: знакомство с методикой оценки степени деградации почв по различным критериям.

Справочно-информационный материал

Ухудшение свойств почвы как среды обитания биоты в результате воздействия природных или антропогенных факторов называется *деградацией*. Почвы, в которых протекают процессы природного или антропогенного характера, приводящие к снижению производства сельскохозяйственной продукции или ее качества, называют деградированными.

В данной расчетной работе приведена группировка показателей, в определенной степени унифицированная, не учитывающая типовых особенностей почв и предназначенная, в первую очередь, для принятия административных решений по использованию земель (Титова и др., 2002).

Под **степенью деградации** почв и земель в целом понимается характеристика их состояния, отражающая ухудшение качества их состава и свойств. Крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова.

Степень деградации почв и земель для каждого из выделенных видов деградации характеризуется (в баллах) следующими уровнями:

0 – недеградированные почвы, продуктивность которых соответствует естественному плодородию (возможные отклонения в неблагоприятную сторону до 5%);

1 – слабodeградированные почвы, возможное снижение которых не превышает 25%;

2 – среднедеградированные почвы с падением продуктивности на 25–50%;

3 – сильнодеградированные почвы, снижение продуктивности которых составляет 50–75%;

4 – очень сильно деградированные почвы, снижение продуктивности которых достигает 75% и более.

Сельскохозяйственные угодья 3 и 4 степени деградации с сильноэродированными, сильнозасоленными, сильнозаболоченными почвами, подверженные опустыниванию, имеющие просадки поверхности вследствие добычи полезных ископаемых, когда использование земель с указанными признаками деградации по целевому назначению приводит к дальнейшему развитию негативных процессов, ухудшению состояния почв и экологической обстановки, а также земли, загрязненные выше 4 (в обязательном порядке) и выше 3 уровня (в отдельных случаях по заключению специалистов), подлежат консервации.

Подготовку материалов по консервации земель осуществляют органы Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, Комитета РФ по земельным ресурсам и землеустройству с участием Министерства сельского хозяйства и продовольствия РФ и Государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации.

В качестве критериев деградации почв могут применяться не только абсолютные значения показателей, но и их изменение (кратность) по отношению к исходному или принимаемому за контроль состоянию почв. За норму или эталон почвы при определении степени ее деградации может быть использована однотипная условно ненарушенная почва или данные предшествующих исследований.

В качестве характеристики скорости деградации почв используют величину *периода деградации*, т.е. гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет по рассматриваемому показателю путь от нулевой (0) до четвертой (4) степени деградации. Таким образом, период деградации есть величина, обратная скорости деградации. Величина периода деградации может иметь отрицательное значение. В таком случае речь идет не об ухудшении, а об улучшении почвы по рассматриваемому показателю. При наличии нескольких факторов де-

градации почв установление ее степени проводится по каждому из наблюдаемых факторов.

Если деградация почвы характеризуется увеличением значения показателя (плотность почвы, количество патогенных организмов, содержание тяжелых металлов и т.д.), то период деградации (в годах) рассчитывается по формуле:

$$T_d = \frac{[(X_{max} - X_0) * \Delta T]}{(X_1 - X_0)}, \quad (1)$$

где: X_{max} – значение показателя, соответствующего 4 баллу деградации; ΔT – временной промежуток между двумя обследованиями (в годах); X_1 – значение критерия деградации почвы при текущем обследовании; X_0 – предыдущее значение критерия деградации почвы.

В случае, когда деградация почвы характеризуется уменьшением значения показателя (содержание элементов питания, мощность органогенного горизонта и т.д.) период деградации определяется следующим образом:

$$T_d = \frac{[(X_0 - X_{min})] * \Delta T}{(X_0 - X_1)}, \quad (2)$$

где: X_{min} – значение показателя, соответствующее 4 баллу деградации.

Если при определении химического загрязнения уровень содержания элемента в незагрязненной почве равен 0 (например, нефтепродуктов), то можно пользоваться следующей формулой:

$$T_d = \frac{X_{max} * \Delta T}{X_1 - X_0}. \quad (3)$$

В итоговой оценке степени деградации учитываются:

- процесс, имеющий наибольшую скорость деградации;
- балл степени нарушенности почвы;
- период деградации.

Примеры итоговой оценки степени деградации почвы:

а) **физическое уплотнение** – 3^{20} ; **химическое загрязнение** – 2^5 .

Где: 3 и 2 – степень деградации, а 20 и 5 – период

По физ. уплотнению: сильно деградированная почва с тенденцией увеличения плотности. Период деградации по этому показателю составляет 20 лет. По химическому загрязнению почва средне деградированная, но процесс прогрессирует так быстро (период деградации по этому показателю составляет 5 лет), что через 1–3 года степень химической деградации будет сравнима с физической и потому уже сейчас необходима разработка системы мероприятий по предотвращению поступления в почву токсичных веществ.

б) **химическое загрязнение** – 3^{-5} ; **физическое уплотнение** – 2^5

Данная почва является сильно деградированной из-за химического загрязнения. По физическому загрязнению она относится к среднедеградированной. Однако период деградации по ее химическому загрязнению равен минус 5 лет, что свидетельствует об ее улучшении за последний период наблюдений, в связи с чем основное внимание нужно уделить ликвидации причин и последствий интенсивно протекающих в почве процессов физической деградации.

Определение степени физической деградации почв

Физическая деградация почв устанавливается по изменению мощности органогенного горизонта, мощности абиотического наноса, плотности почвы, уровня грунтовых вод (табл. 10–1).

Определение степени химической деградации почв

Результатом нерационального использования почв в сельскохозяйственном производстве может стать их истощение, что связывается в первую очередь со снижением содержания питательных элементов в почве и часто является определяющей причиной снижения продуктивности полей. В свою очередь, загрязнение почвенного покрова различными токсичными веществами также приводит к снижению качества и даже количества урожая.

Показатели и критерии физической деградации почв

Показатели физической деградации почв	Степень деградации, в баллах				
	0	1	2	3	4
Мощность органического горизонта (снижение на долю мощности)	< 0,1 А	(0,1–0,2) А	(0,3–0,5)А	(0,6–1,0)А	> А
Мощность абиотического наноса, см	< 1	1–3	4–10	11–20	> 20
Плотность почвы (кратность увеличения)	< 1,1 раза	1,10–1,20 раза	1,21–1,30 раза	1,31–1,40 раза	> 1,40 раза
Уровень грунтовых вод (превышение критического УГВ), %	Ниже критического	0–15	16–30	31–50	> 50

Химическую деградацию почвы оценивают по изменению содержания валовых и подвижных форм основных питательных элементов, легкорастворимых солей, обменного натрия, величины окислительно-восстановительного потенциала и степени загрязнения почвы отдельными токсикантами (табл. 10–2).

При расчете балла деградации почв, вызванного загрязнением тяжелыми металлами, используют данные по ПДК и ОДК в почвах (прил. Д).

Задание

Оценить степень и период деградации участка сельскохозяйственных угодий, находящегося в пределах городской черты. Тип почвы – серая лесная среднесуглинистая (**Вариант 1** рН=5,2; **Вариант 2** рН=6,0). Время действия основных деградационных процессов – 15 лет.

Показатели состояния обследуемой, а также фоновой (нарушенной) почвы представлены в таблицах 10–3 и 10–4.

Показатели и критерии химической деградации почв

Показатели химической деградации почв	Степень деградации в баллах				
	0	1	2	3	4
Содержание основных питательных элементов (кратность снижения)	< 1,2	1,2–1,5	1,6–2,0	2,1–5,0	> 5,0
Содержание гумуса (кратность снижения)	< 1,2	1,2–1,4	1,5–1,7	1,8–2,0	> 2,0
Содержание легкорастворимых солей (увеличение в процентах)	< 0,10	0,11–0,20	0,21– 0,40	0,41–0,80	> 0,81
Содержание обменного натрия (увеличение на % от ЕКО)	< 5	5–10	11–25	26–50	> 51
ОВП почвы (уменьшение, мВ)	< 50	51–100	101–200	201–400	> 400
Степень загрязнения (превышение величины ПДК, кратность)					
1 группа токсичности	< 1	1,0–2,0	2,1–3,0	3,1–5,0	> 5,0
2 группа токсичности	< 1	1,0–3,0	3,1–5,0	5,1–10,0	> 20,0
3 группа токсичности	< 1	1,0–5,0	5,1–20,0	21–100	> 100

Т а б л и ц а 10–3

Показатели состояния обследуемой почвы

Плотность, г/см ³	Содержание тяжелых металлов (валовое), мг/кг					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
1,25	68,7	1,84	29,5	13,5	16,2	11,5

Т а б л и ц а 10–4

Показатели состояния фоновой почвы

Плотность, г/см ³	Содержание тяжелых металлов (валовое), мг/кг					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
1,20	12,5	0,30	15,5	8,0	12,6	8,1

Сравните полученные результаты с фоновыми: что произошло с плотностью обследуемой почвы и содержанием тяжелых металлов?

1. Определите степень и период физической деградации.

- Определите балл деградации почвы через кратность увеличения плотности почвы (отношение: обследуемая почва/фон)

- При сохранении тенденции увеличения плотности, через некоторое время почва, может перейти в разряд деградированных, поэтому рассчитайте период деградации по формуле (1).

- Обозначьте общепринятым образом физическую деградацию почвы (см. примеры).

2. Определите степень и период химической деградации.

* Степень деградации. Определите принадлежность металлов к классам опасности (прил. Е).

- Найдите ОДК этих металлов. Для хрома (3+) использовать ПДК (валовое содержание) (прил. Д).

- Найдите кратность превышения фактического содержания каждого металла в почве (табл. 10–4) над ОДК для металлов *первого класса опасности*.

- Используя данные превышения (фактич. содержание/ОДК) по табл. 10–2 определите балл деградации, соответствующий современному состоянию почвы.

- В таблице 10–2 найдите значения кратности превышения ОДК, соответствующее максимальной степени деградации.
 - Используя эту цифру рассчитайте X_{\max} (произведение ОДК и кратности, соотв. четвертому баллу деградации).
 - Рассчитайте по формуле, приведенной выше, период деградации. Для металлов чье содержание на момент обследования выше 0 уровня необходимо скорректировать рассчитанный по формуле период деградации.
 - Аналогично определить период деградации для металлов *второго класса опасности*.
 - Обозначьте общепринятым образом химическую деградацию почвы (см. примеры).
- * **Вывод по работе:** проанализировать все полученные данные, через сколько лет при сохранении текущих условий почва деградирует до критического уровня?

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «деградированные почвы».
2. Сколько выделяется уровней степеней деградации почв?
3. Какие действия необходимо применить к сельскохозяйственным землям третьего и четвертого уровня деградации?
4. Дайте определение понятию «период деградации».
5. Перечислите параметры, по которым устанавливается физическая деградация почв.
6. Перечислите параметры, по которым устанавливается химическая деградация почв.
7. Объясните возможности применения освоенной методики.

Используемые источники

1. Воробьева Л.А. Химический анализ почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
2. Гавриленко В.В., Сорокина Н.А. Геохимические циклы токсичных элементов. – Л.: Ленинградский ун-т, 1988. – 84 с.
3. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2009. – 432 с.
4. ГН 1.2.3539–18. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень) [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Доступ с сайта Консультант Плюс (дата обращения: 05.11.2018).
5. ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс : справ. правовая система. – Электрон. дан. – Доступ с сайта Консультант Плюс (дата обращения: 05.11.2018).
6. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс : справ. правовая система. – Электрон. дан. – Доступ с сайта Консультант Плюс (дата обращения: 05.11.2018).
7. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс : справ. правовая система. – Электрон. дан. – Доступ с сайта Консультант Плюс (дата обращения: 05.11.2018).
8. ГОСТ 15484–81. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения [Электронный ресурс]. – М., 1981. – 104 с. – Электронная версия печатной публикации. – URL: <http://internet-law.ru/gosts/gost/44890/> (дата обращения: 13.11.2018).
9. ГОСТ 17.4.1.02–83. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. [Электронный ресурс]. –

- Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта OPENGOST.RU (дата обращения: 8.11.2018).
10. ГОСТ 4568–95. Калий хлористый. Технические условия [Электронный ресурс]. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта OPENGOST.RU (дата обращения: 8.11.2018).
 11. ГОСТ 5716–74. Мука фосфоритная. Технические условия [Электронный ресурс]. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта Библиотеки нормативной документации (дата обращения: 8.11.2018).
 12. ГОСТ 5956–78. Суперфосфат гранулированный из апатитового концентрата. Технические условия [Электронный ресурс]. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта OPENGOST.RU (дата обращения: 8.11.2018).
 13. Гранулометрический и микроагрегатный анализы почв / сост. С.П. Кулижский. – Томск: ТГУ, 1996. – 21 с.
 14. Ершова Т.В. Геоэкология и природопользование: УМК. – Томск: ТГПУ, 2006. – 104 с.
 15. Земледелие с основами почвоведения / М.Г. Чижевский, М.Г. Аваев, С.А. Желтиков [и др.]; под ред. М.Г. Чижевского. – 2-е изд., перераб. – М.: Гос. изд-во сельхоз. литературы, 1959. – 432 с.
 16. Интерпретация результатов анализа водной вытяжки и способы их представления. Методические рекомендации / сост. Е.В. Каллас. – Томск: ТГУ, 2000. – Ч. II. – 20 с.
 17. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В.В. Егоров и др. – М.: Колос, 1977. – 221 с.
 18. Куликов Я.К. Агрэкология [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Минск: Выш. шк., 2012. – 319 с. – Электронная версия печат. публикации. – Доступ с сайта «Изд-во «Лань»»
 19. Макаров О.А. Экологическое нормирование качества окружающей среды и почв [Электронный ресурс] // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа, 2013. – 310 с. – Электронная версия пе-

- чатной публикации. – Доступ с сайта электронной библиотеки. – URL: <http://www.pochva.com/>
20. Основы сельскохозяйственной радиоэкологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / сост. Е.В. Пименовой. – Пермь: Пермская ГАТУ им. акад. Д.Н. Прянишникова, 2009. – 118 с. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта Пермского ГАТУ, свободный (дата обращения: 2.10.2015).
 21. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Нефтегазовая геоэкология – наука XXI века [Электронный ресурс] // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 56–62. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта Elibrary.ru
 22. Практикум по агрохимии: учеб. пособие [Электронный ресурс] / В.В. Кидин [и др.]; под ред. В.В. Кидина. – М.: КолосС, 2008. – 599 с. – Электрон. верс. печат. публ. – Доступ с сайта электронной библиотеки факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова
 23. Практикум по агрохимии: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с. – Электрон. верс. печат. публ. – Доступ с сайта электронной библиотеки факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова
 24. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. – Доступ с сайта Консультант Плюс (дата обращения: 05.11.2018).
 25. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование [Электронный ресурс] / под ред. Р. М. Алексахина. – М.: Энергоиздат, 1981. – 98 с. Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта Twirpx.com (дата обращения: 13.11.2018).
 26. Родикова А.В. Особенности геохимической дифференциации и свойств почв ландшафтных микрозон озерных депрес-

- сий Ширинской степи: дис. ... канд. биол. наук. – Томск: Б.и., 2007. – 243 с.
27. Руководство по управлению засоленными почвами. План реализации Евразийского почвенного партнерства [Электронный ресурс] / под. ред. Р. Варгаса и др. – Рим: ФАО, МГУ, 2017. – 153 с. – Доступ с сайта ФАО, свободный (дата обращения: 6.12.2017).
 28. Соколовский А.А., Унаняц Т.П. Краткий справочник по минеральным удобрениям [Электронный ресурс]. – М.: Химия, 1977. – 376 с. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из электронной библиотеки сайта Twirpx. – URL : <http://www.twirpx.com/>
 29. Справочник по химии. – М.: Просвещение, 1970. – 352 с.
 30. Танзыбаев М.Г. Почвы Хакасии. – Новосибирск: Наука, 1993. – 257 с.
 31. Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога): учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: НГСХА, 2002. – 205 с.
 32. Тяжелые металлы в системе почва–растение–удобрение / под общ. ред. М.М. Овчаренко. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – 291 с.
 33. ФЗ N 101–ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16.07.1998 (ред. от 05.04.2016) [Электрон. дан.]. – Доступ с сайта КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 1.11.2018).
 34. ФЗ N 109–ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19 июля 1997 года [Электронный ресурс]. – Доступ с сайта Консультант плюс (дата обращения: 05.11.2018).
 35. Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжелые металлы и здоровье человека // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2004. – №1. – С. 125–132. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ с сайта Киберленинка (дата обращения: 05.11.2018).

Приложение А

**Содержание питательных веществ
различных видов удобрений (Соколовский, 1977)**

Т а б л и ц а 1

Азотные удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	Основное вещество, не менее	Азот, не менее
Аммиачные		
Аммиак жидкий	99,6 NH ₃	82,0
Аммиачная вода техн. марка Б (для сельского хозяйства)	25,0 NH ₃	20,5
Аммонийные		
Сульфат аммония	NH ₃	
Высший сорт	25,7	21,0
I сорт – крист.	25,4	20,8
II сорт – крист. или аморфн.	25,4	20,8
Сульфат аммония техн.		
I сорт	–	20,8
II сорт	–	20,8
Сульфат аммония гран. (коксохим.)	25,4	20,8
Сульфат аммония-натрия	Сульфат натрия не более 20%	17
Нитратные		
Селитра натриевая техн. (ГОСТ)	NaNO ₃	
I сорт	99,5	16,4
II сорт	99,0	16,3
Селитра натриевая техн. (МРТУ)	94,0	15,5
Селитра кальциевая техн.	Ca(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	17,5

О к о н ч а н и е т а б л. 1

Удобрение	Основное вещество, не менее	Азот, не менее
Аммонийно-нитратные и цитратные		
Селитра аммиачная гран. со знаком качества	NH_4NO_3 99,0	34,65
марка А	98,0	34,2
марка Б	97,7	34,0
Амидные		
Карбамид (мочевина)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
со знаком качества	–	46,3
для сельск. хоз.	–	46,0

Т а б л и ц а 2

Фосфорные водорастворимые удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	P_2O_5 усв., не менее	P_2O_5 вод., не менее
1	2	3
Суперфосфат простой порошковидный из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат гран. из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат простой порошковидный су- шенный нейтрализованный из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат двойной гран.		
марка А	49±1	42
марка Б	49±1	37
Суперфосфат двойной порошковидный из кингисеппского флот. конц.	42±1	38±1
Суперфосфат аммонизированный гранулиро- ванный из фосф. Каратау (1,5–2,5% N)	15±1	Не норм.
Суперфосфат аммонизированный порошко- видный из фосф. Каратау (1,5–2,5% N)	15±1	Не норм.

О к о н ч а н и е т а б л . 2

1	2	3
Суперфосфат простой с бором гран. (0,2±0,05 % В)	20±1	Не норм.
Суперфосфат двойной с бором гран. (0,4±0,05 % В)	43±1	36,0
Суперфосфат простой марганезированный (1–2% Mn)	20±1	Не норм.

Т а б л и ц а 3

Фосфорные водонерастворимые удобрения

Удобрение	Содержание, %
	P ₂ O ₅ , не менее
Фосфат осажденный (преципитат)	22
Преципитат удобрительный (из отходов производства желатины)	38,0
Фосфоритная мука	
I сорт	29±1
II сорт	23±1
III сорт	20±1

Т а б л и ц а 4

Калийные удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	KCl	K ₂ O
Калий хлористый гран. (спрессованный) или естественно крупнокрист.		
I сорт	95±1	60±0,6
II сорт	91±1	57,5±0,6
Калий хлористый крупнокрист.	85,0	53,7±0,6
Соль калийная смешанная 40%	63,3	40,0
Хлоркалий – электролит отработанный крист.		
марка А	72,0	45,5
марка Б	50,0	31,6

Удобрение	Содержание, %	
	KCl	K ₂ O
Сульфат калия для сельск. хоз.	–	46±1
Сульфат калия техн.	–	48,0
Калий серноокислый удобрительный		
I сорт	–	50,0
II сорт	–	46,0
Калимагnezия порошковидная (9±1% MgO)	–	18±1
Каинит природный	–	10±0,5

Т а б л и ц а 5

Комплексные удобрения

Удобрение	Содержание, %, не менее				
	Всего N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	N	P ₂ O ₅		K ₂ O
			Усв.	Вод.	
Аммофос гран.					
со знаком качества	61±1	11	50±1	47	–
марка А	61±1	11	50±1	46	–
марка Б	57±1	11	46±1	34	–
Аммофос порошковидн.					
марка А	61±1	11	50±1	47	–
марка Б	57±1	11	46±1	37	–
Аммофос на основе рядовой руды Каратау					
со знаком качества	54	10	44	35	–
гран.	51	9	42	34	–
порошковидн.	51	9	42	36	–
Аммофос удобрительный					
марка А	51±1	12,0	39±1	29±0,5	–
марка Б	47,2	11,7	35,5	26,5	–
Диаммоний фосфат гран.	68	19	49	48	–

Удобрение	Содержание, %, не менее				
	Всего N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	N	P ₂ O ₅		K ₂ O
			Усв.	Вод.	
Нитроаммофос гран.					
марка А	46	23	23	22	–
марка Б	40	16	24	23	–
марка В	45	25	20	19	–
Нитроаммофоска					
сорт А (1:1:1)	51	17±1	17±1	15	17±1
сорт А (1:1,5:1,5)	51	13±1	19±1	16	19±1
Нитрофос гран.					
марка А	40,5	23,5	17	7	–
марка Б	38	24,0	14	6	–
уравновешенный	44±1	22±1	22±1	18	–
Нитрофоска азотно– сульфатная	32	11	10	5,5	11
Селитра калиевая техн.	KNO ₃				
со знаком качест.	99,9	13,84	–	–	46,60
I сорт	99,8	13,82	–	–	46,48
II сорт	99,7	13,78	–	–	46,35

Тяжелые металлы в минеральных удобрениях

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов в азотных, калийных, сложных и комплексных удобрениях (мг/кг) (Тяжелые металлы... 1997)

Удобрение	Элементы									
	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cd	
	Калийные удобрения									
Калийная селитра	<0,3	147	12,7	21	21,3	13,3	<7,3	0,5	*	
Сульфат калия	5,0	58	16,5	42	<9,3	<8,0	9,0	<0,6	<0,2	
Калий хлористый гранулированный	<0,3	27	10,3	122	17,3	10,3	14,7	2,0	3,3	
Калий хлористый негранулированный	<0,6	34	18,4	15,3	12,1	4,9	39,9	2,0	<1,5	
Среднеазотное	1,5	57	16	101	14	8	23	1,4	0,3	
	Азотные удобрения									
Карбамид	<0,44	15	14,6	29	11,2	*	14,3	<0,2	*	
КАС	1	62	40,5	149	24	<1	44	*	*	
Вода аммиачная	5	92	41,0	172	54	<0,2	86	5,4	<0,4	

Удобрение	Элементы									
	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cd	
Сульфат аммония	<1,5	64	24,7	137	27,9	<0,8	46,1	<7,5	<0,5	
Селитра аммиачная	<0,5	13	8,8	35	8,3	<0,1	14,4	*	<0,1	
Кальциевая селитра	4	170	3,5	40	6,5	4,5	15	1	<0,5	
Среднезвешенное	1,3	42	26	76	19	0,4	30	2,5	0,2	
Сложные и комплексные удобрения										
Удобр. для теплиц	<3	131	33,4	78	27,8	4,8	19,4	2,2	2,4	
Аммофос	3,8	153	14,1	290	10,1	10,9	62,3	3,8	3,9	
Азофоска	<1,3	149	117	196	37,3	10,0	137,8	3,8	3,0	
Нитроаммофос	<2,8	33	10,6	116	6,2	2,2	24,4	2,0	1,8	
Нитрофос	8,0	41	15,5	187	5,5	1,5	12,0	3,0	2,0	
Нитроаммофосфат	9,0	65	36,0	198	10,5	8,5	37,0	3,0	3,5	
Среднезвешенное	3,6	116	39	194	184,8	7,5	59	3	3	

* – значения концентраций лежат за пределами обнаружения.

Таблица 2

**Среднее содержание тяжелых металлов в фосфорных удобрениях (мг/кг)
(Тяжелые металлы ..., 1997)**

Удобрения	Элементы*									
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Sn	Hg		
Суперфосфат простой	6,0–9,2	12,1–16,0	0,8–0,9	5,8–7,5	8,6	11,6	2,8	0,08		
Суперфосфат аммонизированный	6,0	6,3	0,5	6,0	–	3,8	–	–		
Суперфосфат двойной	7,2–40,0	9,6–40,0	0,4–2,7	9,1–26,4	24,1	7,0–13,2	2,0	0,04		
Фосфоритная мука	137,0	185,0–210,0	0,9–1,4	11,0–21,1	55,0–180,0	15,0–62,0	–	5,9		
Фосфатшлак	13,2	10,0	0,4	11,0	–	–	–	–		
Фосфогипс	29,8	38,5	2,6	25,0	69,0	9,0	–	17,0		
Средневзвешенное содержание	33,1	48,7	1,4	13,1	46,1	20,5	–	–		

* – вариативность значений обусловлена составом сырья различных производителей.

Номенклатура кислот и средних солей (Справочник... 1970)

Название кислоты	Формула кислоты	Название соли	
		Русская номенклатура солей	Международная номенклатура солей
Азотистая	HNO_2	Азотистокислые	Нитриты
Азотная	HNO_3	Азотнокислые	Нитраты
Борная	H_3BO_3	Борнокислые	Бораты
Бромистоводородная	HBr	Бромистые	Бромиды
Двухромовая	$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Двухромовокислые	Бихроматы
Иодистоводородная	HI	Иодистые	Иодиды
Кремниевая	H_2SiO_3	Кремнекислые (метакремневые)	Силикаты (метасиликаты)
Марганцовая	HMnO_4	Марганцовокислые	Перманганаты
Серная	H_2SO_4	Сернокислые	Сульфаты
Сернистая	H_2SO_3	Сернистокислые	Сульфиты
Сероводородная	H_2S	Сернистые	Сульфиды
Соляная	HCl	Хлористые	Хлориды
Угольная	H_2CO_3	Углекислые	Карбонаты
Уксусная	CH_3COOH	Уксуснокислые	Ацетаты
Фосфорная (орто)	H_3PO_4	Фосфорнокислые (орто)	Фосфаты (орто)
Фтористоводородная (плавиковая)	HF	Фтористые	Фториды

Название кислоты	Формула кислоты	Название соли	
		Русская номенклатура солей	Международная номенклатура солей
Хлорноватая	HClO_3	Хлорноватокислые	Хлораты
Хлорноватистая	HClO	Хлорноватистокислые	Гипохлориты
Хлорная	HClO_4	Хлорнокислые	Перхлораты
Хромовая	H_2CrO_4	Хромовокислые	Хроматы
Цианистоводородная (синильная)	HCN	Цианистые	Цианиды
Щавелевая	$(\text{COOH})_2$	Щавелевокислые	Оксалаты

Допустимые концентрации веществ в почвах

Т а б л и ц а 1

Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых химических веществ в почве (фрагмент) (ГН 2.1.7.2041–06)

Валовое содержание				
Наименование загрязняющего вещества	Формула	Величина ПДК, мг/кг (с учетом фона (кларка))	Лимитирующий показатель вредности	
1	Бензин	0,1	Воздушно-миграционный	
2	Ванадий	150,0	Общесанитарный	
3	Ванадий+марганец	100+1000	Общесанитарный	
4	Комплексные гранулированные удобрения (КГУ ¹)	120	Водно-миграционный	
5	Комплексные жидкие удобрения (КЖУ ²)	80	Водно-миграционный	
6	Марганец	1500	Общесанитарный	
7	Мышьяк ³	2,0	Транслокационный	
8	Нитраты (по NO ₃)	130,0	Водно-миграционный	
9	Ртуть	2,1	Транслокационный	
10	Свинец	32,0	Общесанитарный	
11	Свинец+ртуть	20,0+1,0	Транслокационный	
12	Сера	160,0	Общесанитарный	

	Наименование загрязняющего вещества	Формула	Величина ПДК, мг/кг (с учетом фона (кларка))	Лимитирующий показатель вредности
13	Серная кислота (по S)	H ₂ SO ₄	160,0	Общесанитарный
14	Сероводород	H ₂ S	0,4	Воздушно-миграционный
15	Суперфосфат (по P ₂ O ₅)		200,0	Транслокационный
16	Сурьма	Sb	4,5	Водно-миграционный
17	Хлорид калия (по K ₂ O)	KCl	360,0	Водно-миграционный
18	Хром шестивалентный	Cr ⁶⁺	0,05	Общесанитарный
Подвижная форма				
19	Кобальт ⁴	Co	5,0	Общесанитарный
20	Марганец, извлекаемый 0,1 н H ₂ SO ₄ : чернозем дерново-подзолистая рН 4,0 рН 5,1–6,0 рН ≥6,0 извлекаемый ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8: чернозем	Mn	700,0	Общесанитарный
			300,0	
			400,0	
			500,0	
	дерново-подзолистая рН 4,0 рН 5,1–6,0 рН ≥6,0		140	
22	Медь ⁵	Cu	3,0	Общесанитарный

Наименование загрязняющего вещества	Формула	Величина ПДК, мг/кг (с учетом фона (кларка))	Лимитирующий показатель вредности
23 Никель ²	Ni	4,0	Общесанитарный
24 Свинец ²	Pb	6,0	Общесанитарный
25 Фтор ⁶	F	2,8	Транслокационный
26 Хром трехвалентный ²	Cr ³⁺	6,0	Общесанитарный
27 Цинк ²	Zn	23,0	Транслокационный
Водорастворимая форма			
28 Фтор	F	10,0	Транслокационный

¹ КГУ – N:P:K=64:0:15. ПДК КГУ контролируется по содержанию нитратов в почве, которое не должно превышать 76,8 мг/кг абсолютно сухой массы.

² КЖУ – N:P:K=10:34:0 ГУ 6-08-290-74 с добавками марганца не более 0,6% от общей массы. ПДК контролируется по содержанию подвижных фосфатов (не > 27,2 мг/кг абсолютно сухой почвы).

³ Нормативы As и Pb для разных типов почв представлены как ОДК в другом документе.

⁴ Подвижная форма Со извлекается ацетатно-натриевым буферным раствором с рН 3,5 и 4,7 для сероземов и ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 для остальных типов почв.

⁵ Подвижная форма элемента извлекается ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8.

⁶ Подвижная форма F извлекается из почв с рН ≤ 6,5 HCl концентрации 0,006 н, с рН > 6,5 K₂SO₄ с концентрацией 0,03 н.

**Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК)
некоторых химических веществ в почве (фрагмент) (ГН 2.1.7.2511–09)**

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Группа почв	Величина ОДК, мг/кг (с учетом фона (кларка))
1	Кадмий	Cd	а) песчаные и супесчаные	0,5
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	1,0
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	2,0
2	Медь	Cu	а) песчаные и супесчаные	33
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	66
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	132
3	Мышьяк	As	а) песчаные и супесчаные	2
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	5
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	10
4	Никель	Ni	а) песчаные и супесчаные	20
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	40
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	80
5	Свинец	Pb	а) песчаные и супесчаные	32
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	65

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Группа почв	Величина ОДК, мг/кг (с учетом фона (кларка))
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	130
6	Цинк	Zn	а) песчаные и супесчаные	55
			б) кислые (суглинистые и глинистые), рН КСI<5,5	110
			в) близкие к нейтральным (суглинистые и глинистые), рН КСI>5,5	220

Приложение Е

Классы опасности химических веществ (ГОСТ 17.4.1.02–83)

Класс опасности	Вещества
1	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, F, бенз(а)пирен
2	B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr
3	Ba, V, W, Mn, Sr, ацетофенон

Учебное издание

**РОДИКОВА Анна Викторовна
КУЛИЖСКИЙ Сергей Павлович**

**ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**

Практикум

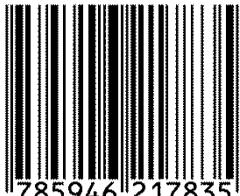
Издание подготовлено в авторской редакции

Компьютерная верстка А.И. Лелююр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано к печати 28.01.2019 г. Формат 60×841/16.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Печ. л. 6,3. Усл. печ. л. 5,9. Тираж 50 экз. Заказ № 3559.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)–52-98-49
Сайт: <http://publish.tsu.ru>
E-mail: rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-94621-783-5



9 785946 217835