

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«Экология почв»
для студентов направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
Направленность (профиль) Экология и экологическая безопасность

Ставрополь, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Содержание данного практикума составляют лабораторные занятия по дисциплине «Экология почв».

Почва – основное и незаменимое средство сельскохозяйственного производства. Почва отличается от других средств производства ограниченностью в пространстве и незаменимостью, поэтому необходимо сохранять и улучшать ее качество. Все мелиоративные мероприятия нужно проводить с учетом свойств почв и особенностей их образования. Следует знать процессы, происходящие в почвах в природных условиях, и те возможные изменения, которые могут произойти под влиянием хозяйственной деятельности человека. Таким образом, мелиорация составляет основу практической деятельности почвоведов, агрохимиков, экологов, биологов, агрономов, так как показатели вещественного состава дают информацию о содержании в почвах индивидуальных химических соединений (например, карбонатов и гипса) или их известных совокупностей (ионов легкорастворимых солей).

Лабораторный практикум предназначен для обучающихся с целью помощи в выполнении лабораторных работ, экономии учебного времени, для самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям.

Обучающийся должен уметь по данным анализа определять химизм почв, знать классификацию почв по степени загрязнения.

В приложениях представлен вспомогательный справочный материал.

Лабораторный практикум составлен на основе информации, представленной в ГОСТах и учебных пособиях для лабораторных работ, которые представлены в библиографическом списке.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Без преподавателя или лаборанта и в верхней одежде в лабораторию входить не разрешается. Все личные вещи, не являющиеся необходимыми для выполнения работы, убирать в специально отведенный для этого шкаф. Работать в лаборатории разрешается только в специальном халате.

2. При работе в лаборатории должны находиться не менее двух человек, при этом категорически запрещается работа студентов в отсутствие преподавателя или лаборанта.

3. На рабочих столах и вокруг работающих не должно быть ничего лишнего. При работе следует соблюдать тишину, экономить реактивы, электроэнергию, бережно относиться к оборудованию, мебели, посуде. Нельзя оставлять без присмотра работающие установки, включенные электронагревательные приборы, спиртовки.

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

5. При работе с концентрированными кислотами и щелочами надевают резиновые перчатки, а на глаза – специальные очки. При измельчении щелочей (едкого натра и едкого калия), кроме того, нос и рот закрывают марлевой маской.

6. Переливают концентрированные кислоты и щелочи из больших бутылей очень осторожно, стараясь не разбрызгивать. Если кислота или щелочь прольется на пол, ее сразу же засыпают песком, который выносят из помещения. Облитое место промывают раствором соды, если была разлита кислота, или слабым раствором кислоты, если была разлита щелочь.

7. При попадании концентрированной кислоты на кожу рук или лица необходимо промыть пораженный участок сначала водой, а затем слабым раствором пищевой соды. Концентрированную щелочь, попавшую на кожу, смывают сначала слабым раствором уксусной кислоты, а затем водой.

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

9. Кислоты нагревают только в вытяжном шкафу при опущенной шторе.

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

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

12. Уходя из лаборатории, нужно прибрать рабочее место, выключить нагревательные приборы и тщательно вымыть руки. Лабораторию можно покидать после выполнения работы с разрешения дежурных. Дежурные назначаются на каждое занятие. Они следят за порядком, в конце занятия принимают рабочие места у студентов и сдают лаборанту чистую лабораторию.

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

Тема 1. Введение. Цели и задачи курса. Общие сведения.

Лабораторная работа № 1

Предмет и место экологии почв в системе наук об окружающей среде, методологические основы и практическое значение дисциплины

Цель работы: Сформировать у студентов целостное представление о предмете, задачах и междисциплинарных связях экологии почв; освоить базовые методологические подходы и оценить прикладную роль почвы как центрального компонента биосферы.

1. Теоретическое введение

1.1. Предмет экологии почв

Экология почв — наука о закономерностях функционирования почвы как многокомпонентной открытой системы в её взаимодействии с окружающей средой, а также о роли живых организмов в почвообразовании и поддержании гомеостаза.

Объект — педосфера (почвенный покров Земли) как среда обитания организмов и биокосная система.

Предмет — структура, функции и динамика почвенных экосистем, потоки вещества и энергии, механизмы устойчивости и саморегуляции.

1.2. Место в системе наук

Экология почв находится на стыке:

- Естественных наук: почвоведение (базовая основа), биология (зоология, микробиология, ботаника), геохимия, гидрология, климатология.
- Экологических дисциплин: общая экология, биогеоценология, глобальная экология, экологический мониторинг.
- Прикладных наук: агроэкология, мелиорация, ландшафтное планирование, токсикология.

Схема для запоминания: Почва — связующее звено между атмосферой, литосферой, гидросферой и биотой.

1.3. Методологические основы

Подход	Сущность	Пример метода
Системный анализ	Почва — иерархическая система (от молекулярного до биосферного уровня)	Моделирование круговорота углерода
Сравнительно-географический	Пространственная изменчивость почв в связи с факторами	Почвенно-географическое районирование
Экспериментальный (в т.ч. лизиметрический)	Контролируемое изменение факторов	Изучение миграции поллютантов

Биоиндикация	Оценка состояния по организмам (нематодам, микроартроподам)	Определение индекса разнообразия
--------------	---	----------------------------------

|

Ключевое понятие: **экологические функции почвы** — её способность обеспечивать жизнь на Земле (среда обитания, биопродуктивность, буферность, депонирование, трансформация веществ).

1.4. Практическое значение для эколога

- Оценка и прогноз деградации почв (эрозия, засоление, загрязнение).
- Биоремедиация загрязнённых земель (нефть, тяжёлые металлы, пестициды).
- Почвенный мониторинг в составе ОВОС.
- Устойчивое землепользование и сохранение биоразнообразия.
- Регуляция климата (депонирование углерода).

2. Оборудование и материалы (виртуальные или реальные)

- Раздаточный материал: таблица «Экологические функции почв», схема «Связи экологии почв с другими науками», карточки с описанием 5 реальных экологических ситуаций.
- Доступ к интернету для поиска нормативных документов (ГОСТ, СанПиН) – по желанию.
- Контурная карта мира/России (для задания 3).

ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Задание 1. Анализ междисциплинарных связей (письменно, в тетради)

Заполните таблицу. Для каждой смежной дисциплины укажите, какую именно информацию она предоставляет экологу почв.

Дисциплина	Какой аспект экологии почв раскрывает?	Пример вопроса
Климатология	Режим увлажнения, температурный режим → скорость разложения органики	Как осадки влияют на выщелачивание?
Геохимия	...	...
Микробиология	...	...
Ландшафтоведение	...	...
Геоинформатика	...	...

Добавьте 2 дисциплины по своему выбору.

Задание 2. Методологический кейс: «Выбор методов для исследования»

Прочитайте описание ситуации. Предложите минимум два метода из разных подходов (системный, сравнительный, экспериментальный, биоиндикация) и обоснуйте выбор.

Ситуация (по вариантам):

- *Вариант А: Оценка последствий разлива нефти в тундре.
- Вариант Б: Мониторинг кислотных выпадений вблизи промышленного центра.
- Вариант В: Изучение влияния лесного пожара на почвенную фауну.

Оформите в виде:

Метод 1 — ...; почему он подходит — ...

Метод 2 — ...; почему он подходит — ...

Задание 3. Практическая значимость: «От теории к нормативу» Используя базу данных «Почвенно-экологическое нормирование» (можно упрощённо – предложенные преподавателем ПДК/ОДК), рассчитайте коэффициент экологической опасности* (условно) для следующего случая:

Пробоотбор: чернозём обыкновенный, слой 0–20 см. Содержание валовых форм:

Pb – 85 мг/кг; Cd – 1,2 мг/кг; нефтепродукты – 250 мг/кг.

Фоновое содержание: Pb – 15 мг/кг, Cd – 0,2 мг/кг.

ПДК (для чернозёма, ориентировочно): Pb – 65 мг/кг; Cd – 1,0 мг/кг; нефтепродукты – 200 мг/кг.

1. Определите, по каким веществам зафиксировано превышение (сравните с ПДК и с фоном).
2. Рассчитайте суммарный показатель загрязнения (Zс) .
3. Сделайте вывод о категории загрязнения (допустимая, умеренно опасная, опасная, чрезвычайно опасная – шкалу дать).
4. Предложите два практических мероприятия по снижению риска для экосистемы.

Контрольные вопросы

1. Предмет экологии почв: что отличает её от классического почвоведения (В.В. Докучаев) и от общей экологии?
2. Назовите три биокосных свойства почвы и объясните, почему их изучение требует междисциплинарного подхода.
3. Перечислите экологические функции почвы в биосфере (минимум 5). Какая из них, на ваш взгляд, наиболее критична для человечества?
4. Что такое гомеостаз почвы и за счёт каких механизмов он поддерживается (буферность, микробное разнообразие и пр.)?
5. В чём разница между ПДК (валовая форма) и ОБУВ? Почему в экологии почв используют также биотестирование?

6. Опишите сравнительно-географический метод на примере изучения подзолистых и чернозёмных почв. Какие экологические выводы можно сделать?

7. Какой вклад вносит экология почв в цели устойчивого развития (ЦУР) ООН? Укажите конкретные цели.

8. (Задача) В пробе почвы из зоны отвала тяжёлых металлов численность дождевых червей снижена в 10 раз, а видовое разнообразие бактерий – в 3 раза. Какой методологический подход позволяет интерпретировать эти данные как раннюю диагностику деградации?

Тема 2. Становление и сущность учения об экологических функциях почв.

Лабораторная работа № 2 Экологическое и гигиеническое значение почвы

Задание 1. Произвести отбор почвы для физико-химического анализа.

Оборудование: нож, шпатель, брезент, целлофановые пакеты.

Ход работы

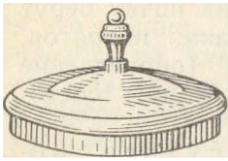
Для контроля загрязнения почв сельскохозяйственных угодий образцы почвы отбирают с участка площадью 10X10 м; для контроля детских садов, игровых площадок, выгребов, мусорных ящиков и др. - с участка площадью 5 X 5 м.

Пробы отбирают ножом, шпателем в 3-5 точках из одного или нескольких горизонтов методом конверта или по диагонали.

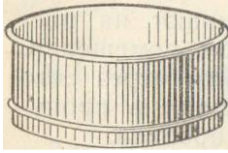
1. В намеченных точках выкапывают шурф с гладкими стенками площадью 1,5X 1 м, глубиной до 2 м.
2. Из каждого шурфа берут пробы на глубине 10,-20 см от поверхности, затем через 50 см от первого слоя до дна шурфа.
 1. Из каждого горизонта берут среднюю пробу массой не менее 1 кг.
 2. Первичные пробы рассыпают на брезенте или листе фанеры, перемешивают, разравнивают в виде прямоугольника и делят диагоналями на 4 части в виде треугольников (метод конвертов).
3. Почву из двух противоположных частей отбрасывают, а остальные две части снова перемешивают и разравнивают, после чего выбрасывают две другие части и так делают до тех пор, пока не остается объединенная средняя проба всего участка массой 1 кг. Такая проба будет соответствовать действительному составу почвы на данном участке (глубине).

Задание 2. Произвести определение механического состава почвы.

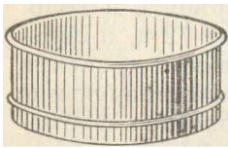
Механический состав - процентное распределение частиц почвы по их размеру. Анализ механического состава почвы дает возможность судить о способности почвы к самоочищению. Определяется просеиванием через сита Кнопа, которых существует 7 номеров с отверстиями диаметром от 0,25 до 10,0 мм (рис.).



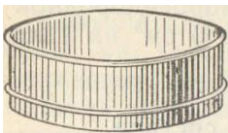
Определение величины зерен почвы



Оборудование: набор металлических сит, мерный цилиндр, аналитические весы.



Ход работы



1. Для определения структуры почвы ее разделяют на отдельные частицы в зависимости от величины почвенных частиц. Для этого применяют набор металлических сит (рис) с отверстиями: 10; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм в диаметре, при работе их соединяют друг с другом так, чтобы сита с более крупными отверстиями помещались сверху, с мелкими - внизу.

2. В верхнее сито насыпают 200-300 г воздушно-сухой почвы и, сотрясая набор сит, просеивают через них навеску почвы. На ситах .N 1, 2, 3 собираются частицы почвы размером более 3 мм, которые представляют собой камни и гравий, на ситах .№ 4, 5 – частицы размером 1-3 мм (крупный песок), на ситах № 6, 7 - средний песок с диаметром частиц 0,25-1 мм, на дне сит собирается мелкий песок, пыль, ил и глинистые частицы.

3. После просеивания содержимое каждого сита и дна прибора взвешивают и вычисляют количество каждой группы почвенных частиц в процентах.

Пример. Для определения величины зерен почвы применялся набор сит. На верхнее сито поместили 200 г почвы и просеяли навеску через набор сит. Задержавшиеся на каждом сите фракции почвы взвесили и определили их процентное содержание ко всей взятой пробе почвы.

На сите N 1 (диаметр отверстий 10 мм) масса частиц почвы составила 60,2 г (30,1 %) Расчет производится по формуле:

$$x = \frac{60,2}{200} \cdot 100$$

На сите .N 2 (диаметр отверстий 5 мм) масса частиц почвы составила 8,8 г(4,4%),

на сите .N 3 (диаметр отверстий 3 мм) - 13,4 г (6,7%), на сите .N 4 (диаметр отверстий 2 мм) - 15,5 г (7,75%), на сите .N 5 (диаметр отверстий 1 мм) - 16,5 г (8,25%), на сите .N 6 (диаметр отверстий 0,5 мм) - 25,4 г (12,7%), на сите .N 7 (диаметр отверстий 0,25 мм) - 17,8 г (8,9%). На дне набора сит масса пыли составила 42,4 г или 21,2%.

Таким образом, превалируют частицы почвы, выпавшие на дно набора сит - 21,2%, размер которых менее 0,01 мм, поэтому тип почвы по механическому составу мелкозернистый.

Определение пористости почвы (общего объема пор).

1. В мерный цилиндр вместимостью 1000 см³ наливают 500 см³ воды.
2. В другой мерный цилиндр насыпают такой же объем исследуемой суховоздушной почвы.
3. Затем пересыпают в первый цилиндр.
4. Содержимое цилиндра взбалтывают и отмечают общий объем почвы и воды.

Пористость определяют по формуле:

$$x = \frac{(a + b - c)}{a} \cdot 100\%$$

где a - объем взятой почвы, см³;

b - объем воды, см³;

c - объем смеси воды и почвы, см³.

Крупнозернистые почвы имеют относительно большую величину пор, у мелкозернистых почв пористость составляет: 40% - песок, 53% - глина, 84% - торф.

Определение водопроницаемости почвы.

Водопроницаемость определяется временем, необходимым для просачивания воды слоем 4 см³ через слой почвы 20 см.

1. Мерный цилиндр высотой 30-35 см, диаметром 3-4 см без дна укрепляют в штативе, прикрывают нижнее отверстие фильтровальной бумагой и подвязывают полотном.
2. В цилиндр насыпают образец почвы до уровня 20 см³.
3. На слой почвы наливают слой воды толщиной 4 см³ (т. е. до уровня 24 см³) и отмечают время, за которое через слой сухой почвы (20 см³) пройдут первые капли воды. Давление воды поддерживают постоянным за счет сохранения слоя воды над почвой (4 см³).

Определение капиллярности почвы (водоподъемной способности почвы)

1. В стеклянные трубки диаметром 2-3 см, укрепленные в штативе вертикально с подвязанным полотном нижними отверстиями, насыпают исследуемые образцы почвы в суховоздушном состоянии.
2. Нижний конец трубок погружают в воду на глубину 0,5 см. Отмечают максимальный уровень поднятия воды в трубках в сантиметрах через 10, 15, 30 мин и 24 ч.

Задание 3. Изучить показатели эпидемической безопасности почвы.

Санитарное число Хлебникова – отношение азота гумуса (собственно почвенного органического вещества) к общему органическому азоту (состоящего из азота гумуса и азота посторонних для почвы органических веществ, которые ее загрязняют). Если почва чистая, то санитарное число Хлебникова равно 0,98-1.

Коли-титр почвы – минимальное количество почвы в граммах, в которой содержится одна бактерия группы кишечной палочки.

Титр анаэробов (перфрингенс-титр) почвы – минимальное количество отходов в граммах, в котором содержится одна анаэробная клостридия.

Микробное число почвы – это количество микроорганизмов в 1 грамме почвы, выросших на 1,5% мясо-пептонном агаре при температуре 37°C за 24 часа

Шкала оценки санитарного состояния почвы *

Степень опасности	Степень загрязнения	Показатели эпидемической безопасности					Показатель загрязнения ЭХВ - кратность превышения ПДК	Показатель радиационной безопасности	Показатель самоочищения - титр термофилов
		Коли-титр	Титр анаэробов	Число яиц гельминтов в 1 кг	Число личинок и куколок мух на 0,25 м ²	Санитарное число Хлебникова			
Безопасная	Чистый	1,0 и выше	0,1 и выше	0	0	0,98-1,0	≤1	Естественный уровень	0,01-0,001
Относительно безопасная	Слабо загрязненный	1,0-0,01	0,1-0,01	До 10	Единичные экземпляры	0,86-0,98	1-10	Превышение естественного уровня в 1,5 раза	0,001-0,00002
Опасная	Загрязненный	0,01-0,001	0,01-0,0001	11-100	10-25	0,70-0,86	11-100	Превышение естественного уровня в 2 раза	0,00002 - 0,00001
Чрезвычайно опасная	Сильно загрязненный	0,001 и ниже	0,0001 и ниже	Больше 100	25 и выше	<0,70	>100	Превышение естественного уровня	<0,00001

	ный	ниже			больше			го уровня в 3 раза	
--	-----	------	--	--	--------	--	--	-----------------------	--

*При условии отбора проб почвы из глубины 0-20 см.

Задание 4. *Дать гигиеническую оценку полученным результатам.*

Результаты выполненной работы оформляются в виде протокола (задания выполняются малыми группами).

Ситуационные задачи

1. В жилом здании, в котором проживают 1200 человек, имеются для сбора мусора два контейнера, вместимость каждого $0,7 \text{ м}^3$. достаточно ли этого? (в сутки от одного человека образуется $1,5 \text{ дм}^3 - 0,0015 \text{ м}^3$ мусора).
2. В цилиндр налито 500 см^3 воды, объем исследуемой почвы 500 см^3 , после перемешивания воды с почвой общий объем составил 800 см^3 . Определить пористость почвы.
3. На окраине населенного пункта для строительства новой школы-интерната отводится участок площадью 3 га бывшего пахотного поля. На самом участке при санитарном обследовании не выявлены источники загрязнения. В то же время почва может быть загрязнена минеральными удобрениями и пестицидами при использовании участка для сельскохозяйственных целей. Рельеф местности с уклоном в южную сторону. На расстоянии 20 м от северной границы участка выявлена неупорядоченная свалка бытовых отходов, на расстоянии 100-130 м находятся усадьбы населения. В центре участка проба почвы была отобрана методом “конверта” размером $40 \times 20 \text{ м}^2$. В каждой точке отобрано по 1 кг почвы.

Данные лабораторного исследования:

Физические свойства почвы: физического песка (частиц размером больше $0,01 \text{ мм}$) - 85%, посторонних примесей - до 9%.

Показатели загрязнения экзогенными химическими веществами: ДДТ (сумма изомеров) - $0,05 \text{ мг/кг}$ (ПДК - $0,1 \text{ мг/кг}$), гексахлорциклогексан (ГХЦГ) - $0,01 \text{ мг/кг}$ (ПДК - $0,1 \text{ мг/кг}$).

Санитарно-химические показатели эпидемической безопасности: азота аммиака – $4,5 \text{ мг/100 г}$, органического азота – $0,6 \text{ мг/100 г}$, нитритов – $0,5 \text{ мг/100 г}$, нитратов – $3,3 \text{ мг/100 г}$, хлоридов – 75 мг/100 г , санитарное число Хлебникова – 0,78.

Санитарно-микробиологические показатели эпидемической безопасности: микробное число – 5×10^5 , коли-титр – 0,01, титр анаэробов – 0,001, яйца гельминтов – 7 в 1 кг почвы, число личинок и кукол мух – 5 на $0,25 \text{ м}^2$.

Составьте обоснованный вывод о санитарном состоянии почвы и дайте рекомендации относительно отвода участка под строительство школы.

Задание 5. Определить по фотографии почвенного профиля (выдает преподаватель) вещественный состав почвы. Записать по каким морфологическим признакам определили наличие карбонатов щелочноземельных металлов, гипс, содержание легкорастворимых солей (внешний вид, цвет, форма новообразований).

Задание 6. Заполнить таблицу 2 по систематике химических новообразований степных, полупустынных и пустынных почв.

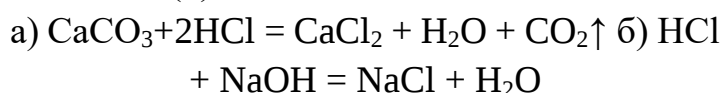
Таблица 2. Систематика химических новообразований

Название, химический состав	Налеты, выцветы, примазки, потеки, корочки, прожилки, трубочки	Конкреции или стяжения	Прослойки	Район распространения	Почвы

Лабораторная работа №3.

Ацидиметрическое определение карбонатов

Метод основан на разрушении карбонатов титрованным раствором соляной кислоты при суточном настаивании (а) и последующем титровании избытка кислоты щелочью (б):



Метод отличается простотой и пригоден для массовых анализов.

Приборы и материалы: плоскодонная колба на 750-1500 мл, складчатый фильтр, пипетки на 25 мл, колба для титрования на 100 мл, бюретка.

Реактивы

1. 0,02н раствор HCl: 1,64 мл HCl (пл.1,19) растворить в воде в мерной колбе емкостью 1 л, довести водой до метки и перемешать.
2. 0,02н раствор NaOH: 0,8 г NaOH растворяют в воде без CO₂, доводят в мерной колбе емкостью 1л такой же водой до метки и перемешивают. Оба титрованных раствора (HCl и NaOH) удобно приготовить для этих целей из фиксанала.
3. Лакмусовая бумага.
4. Раствор метилроута (метилового красного): 0,02 г тонко растертого индикатора растворить в 100 мл горячей воды и по охлаждению отфильтровать.

Ход определения

1. Навеску почвы, равную 0,5-5 г (в зависимости от содержания карбонатов в соответствии с табл. 31), помещают в склянку или плоскодонную колбу емкостью 750-1500 мл, приливают 500-1000 мл 0,02н HCl и оставляют

[illegible]

Контрольные вопросы:

1. Какие свойства почв характеризуют их химическое состояние?
2. Понятие о вещественном составе почв.
3. Место вещественного состава почв в системе показателей химического состава почв.
4. Какие необходимо знать показатели, чтобы оценить химическое состояние засоленных почв?
5. Как оценивается информативность показателей вещественного состава почв.
6. Какие побочные реакции могут происходить при выделении из почв индивидуальных химических соединений?
7. Какие соли принято относить к легкорастворимым?
8. Какие методы используют для извлечения легкорастворимых солей из засоленных почв, каковы достоинства и недостатки этих методов?
9. Какую информацию о свойствах засоленных почв получают, проводя анализ почв методом водной вытяжки?
10. Каково значение почвенного раствора в почвообразовании, плодородии почв и питании растений?
11. Назовите показатели, которые используют для характеристики засоления почв.
12. К каким солям относится гипс? К хорошо- (легко), средне- или труднорастворимым? Какова растворимость гипса?
13. В каких единицах обычно выражают результаты анализа водных вытяжек?

Тема 3. Биогеоценотические функции почв.

Определение легкорастворимых солей в почвах

Засоление почв диагностируют и оценивают, анализируя почвенные растворы, фильтраты из насыщенных водой почвенных паст и водных вытяжек. В России определение легкорастворимых солей и оценку засоления почв традиционно проводят методом водной вытяжки (Соколов Н.И., 1934; Мамонтов В.Г., 2002, 2019).

Данные водных вытяжек дают хороший сравнительный материал по содержанию и составу водорастворимых веществ в почве и позволяют оценить наиболее важную их генетико-агрономическую особенность – специфику ионно-солевого комплекса. Методом водных вытяжек пользуются при исследовании динамики почвенных процессов, изучении режима питательных веществ почвы, выявлении присутствия в ней вредных для растения солей и для решения многих других практических задач.

Суть метода водной вытяжки заключается в кратковременном (3 мин.) взаимодействии почвы и дистиллированной воды, взятых в соотношении 1:5. При этом происходит растворение легкорастворимых и труднорастворимых солей, содержащихся в почве.

Наиболее детальную характеристику засоленной почвы дает полная водная вытяжка, когда определяются сухой (плотный) остаток, прокаленный остаток, главные анионы – CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и катионы – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Результаты анализа водных вытяжек представляют в процентах с точностью до третьего десятичного знака и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы с точностью до второго десятичного знака (Воробьева Л.А., 1984). Эквивалентная форма выражения результатов анализа позволяет установить количественное соотношение между положительно и отрицательно заряженными ионами и выявить их взаимное насыщение.

Миллиграмм-эквивалентом (мг-экв) называют тысячную долю грамм эквивалента. Вычисление мг-экв при объемных определениях производят умножением числа миллилитров раствора, израсходованного на титрование, на нормальность этого раствора.

Приготовление водной вытяжки и определение реакции среды

Водная вытяжка представляет собой фильтрат, приготовленный из анализируемой почвы, после трехминутного взбалтывания взятой навески с

пятикратным количеством воды. Водная вытяжка дает представление о содержании в почве водорастворимых веществ, состоящих преимущественно из простых минеральных и органических солей.

Ионно-солевой комплекс почв представляет собой всю совокупность солей и ионов находящихся в разных формах – жидкой (почвенный раствор), твердой (кристаллические водорастворимые соли), сорбированной (обменные основания) и связанных между собой динамическим равновесием.

Следует иметь в виду, что с момента растворения простых солей на почву действует уже не водный, а более сложный раствор: в солончаках – солевой, в солонцах – щелочной, в подзолистых и дерново-подзолистых почвах – кислый. В результате взаимодействия солевого раствора, особенно NaCl, на почву повышается растворимость труднорастворимых солей и, кроме того, имеют место реакции взаимного обмена между катионами вытяжки и катионами поглощающего комплекса почвы. Щелочная реакция солонцов увеличивает растворимость гумуса, кислая реакция подзолистых и дерново-подзолистых почв способствует переходу в вытяжку полуторных окислов.

Лабораторная работа №4.

Приготовление водной вытяжки и определение реакции среды

Приборы и материалы: технические весы, мерная колба на 250-1000 мл с резиновой пробкой, ротатор, воронка для фильтрования, фильтр с синей лентой диаметром 9-11 см, складчатый фильтр, мерный цилиндр на 25 мл, химический стакан на 50 мл, ионметр, ротатор.

Реактивы: 1. Дистиллированная вода без CO₂.

Ход определения

1. Отвешивают на технических весах воздушно-сухую почву – 100 г и помещают в колбу емкостью 1000 мл. Приливают 500 мл дистиллированной воды. Колбу закрывают резиновой пробкой и взбалтывают на ротаторе в течение 3 мин.
2. Перед тем как вылить вытяжку на фильтр, содержимое колбы встряхивают, чтобы взмутить навеску. Вытяжку фильтруют через фильтр (в воронку вкладывают плотный фильтр диаметром 9-11 см, затем – складчатый фильтр, который должен соответствовать размеру воронки, т.е. лежать на 0,5-1 см ниже ее края, можно использовать двойные складчатые фильтры), желательнее перенести сразу весь объем. Почва забивает поры фильтра, задерживает коллоидные частицы и тем способствует получению прозрачного фильтрата.

Для анализа собирают только прозрачный фильтрат. *Нельзя допускать, чтобы фильтр был выше воронки; в этом случае раствор, поднимаясь по капиллярам бумаги, образует «выцветы» солей по краю фильтра и тем снижает концентрацию их в фильтрате.* Скорость фильтрации зависит от растворимости солей. Для защиты вытяжки от испарения при длительном фильтровании воронку прикрывают большим покровным стеклом, а в горло колбы вставляют тампон ваты.

3. Сразу определяется реакция среды, для этого мерным цилиндром отмеряем 25 мл фильтрата и переносим в стакан на 50 мл.

4. Включаем ионометр подготовленный к определению и опускаем в вытяжку хлор-серебряный и стеклянный электроды сравнения прибора, после чего на экране выдается значение реакции среды.

5. Реакция среды водной вытяжки равна: $pH_{H_2O} = \dots$

Определение сухого (плотного) остатка

Сухой или плотный остаток дает представление об общем содержании растворимых органических и минеральных веществ в водной вытяжке. Для получения характеристики общего засоления почв и проверки результатов анализа водной вытяжки используется суммарное определение растворимых в воде соединений.

Метод основан на высушивании при 100-105°C остатка, полученного выпариванием аликвоты водной вытяжки и определении её массовой доли (%).

В незасоленных почвах величина сухого остатка колеблется в пределах 0,01-0,30 %; в засоленных – превышает 0,30 %. По величине сухого остатка устанавливают степень засоления почв (табл. 6).

Таблица 6. Уровни степени засоления почв по содержанию сухого остатка

Сухой остаток, %	Условная степень засоления
менее 0,3	незасолённые
0,31 - 0,5	слабозасолённые
0,51 - 1,0	среднезасолённые
1,01 - 2,0	сильнозасолённые
более 2,0	очень сильнозасолённые

Лабораторная работа № 5.

Определение сухого (плотного) остатка

Приборы и материалы: водяная баня с электрообогревом, сушильный шкаф, эксикатор, мерная пипетка на 25-50 мл, фарфоровая чашка на 100- 150 мл, аналитические весы, водная вытяжка.

Ход определения

1. Предварительно высушивают фарфоровую чашку диаметром 10-15 см в сушильном шкафу 3 часа, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.
2. Для определения берут аликвоту 50 мл водной вытяжки, помещают в предварительно высушенную и взвешенную фарфоровую чашку.
3. Чашку с аликвотой выпаривают на водяной бане с электрообогревом. Выпариваемый объем должен занимать не более $\frac{1}{2}$ объема, так как сухой остаток «ползет» по стенкам чашки. В процессе выпаривания следят, чтобы кипящая вода не попадала на дно чашки. Выпаривают раствор на водяной бане до сухого состояния.
4. По окончании выпаривания чашку с остатком вытирают снаружи полотенцем, высушивают и ставят в холодный сушильный шкаф. Если перенести в горячий шкаф могут быть потери от разбрызгивания солей. Доводят температуру в сушильном шкафу до $100^{\circ}\text{--}105^{\circ}\text{C}$ и высушивают при указанной температуре в течение 3 час, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Затем повторно 2 часа для получения постоянного веса остатка (если вес остатка больше 0,1 г осадок высушивают еще раз в течение 1-2 час).
5. Вычисляют сухой остаток по формуле:

$$C_{yx. \text{ ocm. } \%} = (a \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \quad (4)$$

где V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной
вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения сухого остатка, мл;

V_3 – масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности;

100 – коэффициент пересчета на 100 %;

6. Результаты записывают в таблицу 7.

Таблица 7. Форма записи результатов определения сухого остатка

Почва	Глубина, см	Аликвоты, мл	№ чашки	Масса, г			Сухой остаток, %	
				пустой чашки	взвешивание			сухого остатка
					1	2		

--	--	--	--	--	--	--	--	--

7. Полученные данные используют для установления условной степени засоления почвы или отдельного его горизонта.

Определение прокалённого остатка

Прокаленный остаток характеризует минерализацию водной вытяжки и дает представление об общем количестве водорастворимых минеральных солей. Если вытяжка имеет темную окраску, за счет водорастворимых органических веществ, следует для прокаливания взять меньший объем для лучшего озоления.

Лабораторная работ №6.

Определение прокалённого остатка

Приборы и материалы: муфельная печь, муфельные щипцы, эксикатор, фарфоровая чашка на 100-150 мл, пипетка на 50 мл.

Ход определения

1. Для определения можно воспользоваться высушенным и взвешенным сухим остатком. Прокаливают его в муфельной печи при температуре 600°C в течении 10-15 минут с момента достижения указанной температуры.
2. Если за это время остаток не побелеет, чашку охлаждают и смачивают несколькими каплями дистиллированной воды, подсушивают на водяной бане и ставят в муфельную печь на 30 минут.
3. Вычисляют прокалённый остаток по формуле:

$$\text{Прок.ост., \%} = (a \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \quad (5)$$

где a – полученная масса прокалённого остатка, г;

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения сухого остатка, мл;

V_3 – масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности;

100 – коэффициент пересчета.

6. Результаты записывают в таблицу 8.

Таблица 8. Форма записи результатов определения прокалённого остатка

Почва	Глубина , см	Аликвота, мл	№ чашк и	Масса, г				Прокаленны й остаток, %
				чашк и	взвешиван ие		остатк а	
					1	2		

4.4. Качественное определение содержания ионов и реакции водной вытяжки

Приступая к количественному определению состава водной вытяжки необходимо провести качественные испытания. Они позволят установить объём вытяжек для определения ионов в соответствии с их содержанием в анализируемом водном растворе, а также убедиться, какими соединениями обуславливается щёлочность и кислотность вытяжки.

Лабораторная работа №7.

Качественное определение содержания ионов и реакции водной вытяжки

Приборы и материалы: колбы объемом на 100 мл, пробирки на 5 мл, мерные пипетки на 10 мл, газовая горелка.

Реактивы:

1. Индикаторы: фенолфталеин, метилоранж.
2. 10 % H_2SO_4
3. 5 % AgNO_3
4. 10 % HCl
5. 10 % BaCl_2
6. 10 % CH_3COOH
7. 4 % $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$

Ход определения

1. Определение хлор – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют 2 каплями 10 % серной кислотой, затем прибавляют несколько капель 5% азотнокислого серебра. Содержимое колбы перемешивают и по образовавшемуся осадку AgCl устанавливают объём вытяжки для определения хлоридов, ориентируясь на показатели таблицы 9: $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{AgCl}\downarrow + \text{NaNO}_3$.

Таблица 9. Объём водной вытяжки для определения Cl^- в зависимости от

показаний качественной пробы (Аринушкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание Cl^-		Количество мл вытяжки для определени я Cl^-
	в мг на 100 мл вытяжки	в г на 100 г почвы (%)	
Большой хлопьевидный осадок	более 10	десятые доли	5
Сильная муть	10 - 5	сотые доли	25
Опалесценция	1 - 0,1	тысячные доли	более 50

2. Определение сульфат – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют 2 каплями 10 % HCl , прибавляют 2-3 капли 5 % BaCl_2 и перемешивают. По величине осадка BaSO_4 устанавливают объём вытяжки, используя таблицу 10.

3. Определение кальций – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют каплей 10 % CH_3COOH , прибавляют 2-3 капли 4 % $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, перемешивают, по осадку CaC_2O_4 устанавливают объём вытяжки, используя таблицу 11.

4. Определение реакции водной вытяжки.

- В колбу на 100 мл берут 10 мл вытяжки и прибавляют одну каплю фенолфталеина. Розовый цвет раствора указывает на наличии соды, а её интенсивность на количественные характеристики.
- При нейтральном окрашивании пробу с вытяжкой помещают на сетку над пламенем горелки и упаривают в процессе кипячения на 1/3 от первоначального или чуть больше. Появление розоватой окраски говорит о наличии в вытяжке бикарбонатов, которые при нагревании перешли в углекислую соду.
- При нейтральной или кислой реакции вытяжки к свежей порции добавляют 1-2 капли метилоранжа, что, окрашивает её в бледно-розовый цвет, если в желтый, то это свидетельствует о содержании в вытяжке только бикарбонатов в незначительных концентрациях.

Таблица 10. Объём водной вытяжки для определения SO_4^{2-} в зависимости от показаний качественной пробы (Аринушкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание SO_4^{2-}		Количество мл вытяжки для определения SO_4^{2-}
	в мг на 100 мл	в г на 100 г (%)	
Большой осадок, быстро оседающий на дно	50	десятые доли	5
Муть появляющаяся сразу	10 - 1	сотые доли	25

Медленно появляющаяся муть	1 - 0,5	тысячные доли	более 50
----------------------------	---------	---------------	----------

Таблица 11. Объём водной вытяжки для определения Ca^{2+} в зависимости от показаний качественной пробы (Аринушкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание Ca^{2+}		Количество мл вытяжки для определения Ca^{2+}
	в мг на 100	в г на 100 г	
Большой осадок, выпадающий сразу	более 50	десятые доли	5
Муть выделяющаяся при перемешивании	10 - 1	сотые доли	25
Слабая муть, появляющаяся при стоянии	1 - 0,1	тысячные доли	более 50

5. Результаты качественного определения содержания ионов заносят в таблицу 12.

Таблица 12. Результаты определения содержания ионов

Горизонт	Глубина, см	Вид осадка			Наличие		рН по индикатору
		Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	сода	бикарбоната	

Определение общей кислотности водной вытяжки

Общая кислотность обусловлена присутствием в почве свободной углекислоты и органических кислот, водорастворимых кислых солей и ненасыщенных соединений. Если водная вытяжка кислая (окрашивается метилоранжем в бледно-розовый цвет), то в ней определяют общую кислотность.

Метод основан на титровании водной вытяжки раствором щёлочи в присутствии фенолфталеина до бледно-розовой окраски.

Лабораторная работа №8.

Определение общей кислотности водной вытяжки

Приборы и материалы: мерные пипетки объёмом 20-25 мл, бюретка, две конические колбы на 100 мл.

Реактивы: 1. Индикатор:
фенолфталеин.

2. 0,01н раствор NaOH Ход
определения

1. Берут пипеткой 25 мл водной вытяжки в две колбы объёмом на 100 мл и прибавляют 1-2 капли фенолфталеина, перемешивают круговыми движениями.
2. Титруют 0,01н раствор NaOH до появления бледно-розовой не исчезающей окраски.
3. Результаты определения вычисляют в мг-экв/100 г почвы по формуле:

$$H^+ = a \times K_{NaOH} \times 20 \times 0,01 \times K_{H_2O}, \quad (6)$$

где a – количество щелочи пошедшей на титрование, мл;

K_{NaOH} – поправка на титр щелочи;

20 – множитель для пересчета на 100 г почвы;

0,01 – значение мг-экв H^+ связываемое 1 мл 0,01н NaOH;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности.

4. Результаты заносят в таблицу 13.

Таблица 13. Форма записи результатов определения общей кислотности

Почва	Глубин а, см	Аликвот а, мл	K_{H_2O}	K_{NaOH} Н	Пошло NaOH на титрование	H^+ мг-экв/100 г

Определение щелочности от растворимых карбонатов

Щёлочность от растворимых карбонатов или щёлочность от нормальных карбонатов характерна для водных вытяжек, щёлочность которых обусловлена присутствием в почве соды, а также щелочных солей кремневой и органических кислот, для карбонатных почв – углекислым магнием.

Растворимые карбонаты создают щелочную реакцию водной вытяжки при добавлении фенолфталеина и она окрашивается в розовый цвет. Титруя окрашенную вытяжку кислотой до обесцвечивания индикатора узнаем содержание в ней растворимых карбонатов. Нейтрализация соды идет до образования бикарбонатов, поэтому оттитровывается лишь наполовину и полученные результаты по титрованию удваивают. Образующиеся бикарбонаты подкисляют раствор, снижается щёлочность среды и фенолфталеин обесцвечивается.

Лабораторная работ №9.

Определение щелочности от растворимых карбонатов.

Приборы и материалы: мерная пипетка на 25-50 мл, две конические колбы на 200 мл, бюретка.

Реактивы: 1. Индикатор:
фенолфталеин.

2. 0,01н и 0,02н раствор H_2SO_4 . Ход
определения

1. Берут аликвоту пипеткой по 25 мл в две конические колбы на 200 мл.
2. В одну колбу прибавляют 2 капли фенолфталеина, а вторая является “свидетелем”, чтобы вовремя заметить переход окраски (в неё не добавляют индикатор).
3. Титрование проводят 0,01н или 0,02н H_2SO_4 в зависимости от интенсивности окраски до обесцвечивания раствора. Титрование следует вести быстро, чтобы избежать насыщения раствора углекислотой.

Внимание! Колбы после титрования с полученным раствором используют для определения общей щёлочности.

4. Выражают растворимые карбонаты в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы и в процентах ионов CO_3^{2-} . Рассчитывают по формулам:

$$CO_3^{2-} \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times 2 \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \dots (7)$$

где a – количество серной кислоты пошедшей на титрование, мл;

N – нормальность H_2SO_4 ,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения общей щёлочности, мл; V_3 –

масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г; K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

2 – коэффициент на полноту титрования,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес (прил. 1) и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$CO_3^{2-} \% = (HCO_3^-, \text{ мг-экв/100г почвы} \times 30) / 1000 \quad (8)$$

5. Результаты заносят в таблицу 14.

Таблица 14. Форма записи результатов определения растворимых

карбонатов

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K_2CO_3	Нормальность H_2SO_4	H_2SO_4 , мл	CO_3^{2-} мг-экв/100 г	CO_3^{2-} %

Определение щёлочности водной вытяжки

Общую щёлочность определяют в водных вытяжках во всех почвах. Величина этой формы щёлочности зависит от общего содержания в почве бикарбонат-ионов HCO_3^- (гидрокарбонатов) щелочных и щелочноземельных металлов. Метод заключается в титровании водной вытяжки 0,01 н раствором серной кислоты в присутствии метилоранжа. По метиловому оранжевому бикарбонаты оттитровываются полностью, поэтому общая щёлочность является суммарной величиной всех бикарбонатов вытяжки.

Лабораторная работа № 10.

Определение щёлочности водной вытяжки

Приборы и материалы: мерная пипетка на 20-25 мл, две конические колбы на 100 мл, бюретка.

Реактивы:

- Индикатор: метилового оранжевого.
- 0,01 н раствор H_2SO_4 . Ход

определения

- Берут пипеткой по 20-25 мл водной вытяжки в две колбы на 100 мл.
- Приливают по 1-2 капли метилоранжа и перемешивают круговыми движениями. В присутствии индикатора вытяжка окрашивается в жёлтый цвет.
- Титруют вытяжку в одной из колб 0,01 н H_2SO_4 до бледно-розовой окраски. Изменение жёлтой окраски (в нейтральной и слабощелочной реакции) трудноуловимо, поэтому для более точного определения используют вторую колбу в качестве свидетеля.

Внимание! После титрования колбы с полученным раствором используют для определения хлор-иона.

- Выражают общую щелочность в процентах ионов HCO_3^- и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$HCO_3^- \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \quad (9) \text{ где}$$

a – количество серной кислоты пошедшей на титрование, мл;

N – нормальность H_2SO_4 ,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл; V_2 – аликвота взятая для определения общей щёлочности, мл; V_3 – масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$HCO_3^-, \% = (HCO_3^- \text{ мг-экв/100г} \times 61) / 1000 \quad (10)$$

Эквивалентный вес $HCO_3^- = 1 + 12 + (16 \times 3) = 61$

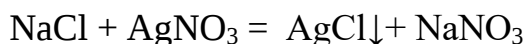
5. Результаты заносят в таблицу 15.

Таблица 15. Форма записи результатов определения общей щёлочности

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K_{H_2O}	Нормальность H_2SO_4	H_2SO_4 , мл	HCO_3^- мг-экв/100 г	HCO_3^- %

Определение хлор-иона

Определение хлор-ионов из водной вытяжки дает возможность установить степень хлоридного засоления. Метод основан на взаимодействии хлор-ионов с ионами серебра в присутствии хромат-ионов. При прибавлении к титруемому раствору азотнокислого серебра образуется нерастворимый белый осадок хлористого серебра:



Когда хлор-ион перейдёт весь в хлористое серебро, азотнокислое серебро начнёт вступать в реакцию с двуххромовокислым калием и придаст раствору не исчезающий красновато-бурый оттенок, так как будет образовываться хромовокислое серебро. Титрование ведут при **энергичном!** взбалтывании раствора, чтобы освободить сорбированный осадок от хлор-иона. Просветление под конец титрования связано с укрупнением частиц осадка.

Лабораторная работа № 11. Определение хлор-иона

Приборы и материалы: бюретка, колбы с нейтрализованной водной вытяжкой после определения обменной щелочности.

Реактивы:

1. 10 % $K_2Cr_2O_7$
2. 0,02н $AgNO_3$.

Ход определения

1. Берём колбы с нейтрализованной водной вытяжкой после определения общей щёлочности и прибавляем в качестве индикатора 1 мл 10 % $K_2Cr_2O_7$.
2. Проводим титрование хлор-иона 0,02н раствором азотнокислого серебра до появления не исчезающей красно-бурой окраски. Обязательно используем вторую колбу в качестве свидетеля.
3. Выражают содержание хлор-иона в процентах и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$Cl^- \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / V_2 \times V_3, \quad (11) \text{ где}$$

a – количество азотнокислого серебра пошедшего на титрование, мл;

N – нормальность $AgNO_3$,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения общей щёлочности, мл; V_3 – масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г; K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$Cl^-, \% = (Cl^- \text{ мг-экв/100г} \times 35,45) / 1000, \quad (12)$$

Эквивалентный вес $Cl^- = 35,45$.

4. Результаты заносят в таблицу 16.

Таблица 16. Форма записи результатов определения хлор-иона

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K_{H_2O}	Нормальность $AgNO_3$	$AgNO_3$, мл	Cl^- мг- экв/100 г почвы	Cl^- , %

Определение сульфат-иона

По количественному содержанию сульфат-иона можно установить степень сульфатного засоления. Определение проводят весовым методом. Метод основан на осаждении сульфат-иона барием. Осаждение проводят в нагретом солянокислом растворе, что способствует получению перенасыщенного раствора и выделению из него крупнокристаллического осадка BaSO_4 .

Лабораторная работа №11. Определение сульфат-иона

Приборы и материалы: химический термостойкий стакан на 50 мл, часовое стекло, стакан на 500 мл и 100 мл, мерная пипетка на 20-25 мл и на 1 мл, мерный цилиндр на 5 мл, электроплита с асбестовой сеткой, муфельная печь и муфельные щипцы, эксикатор, фильтр с синей лентой, лакмусовая бумага, воронка для фильтрования, фарфоровый тигль, аналитические весы.

Реактивы:

1. 10 % HCl
2. 10 % BaCl_2
3. 10 % H_2SO_4 .

Ход определения

1. Берём в химический стакан пипеткой аликвоту 20-25 мл и подкисляем 1-2 мл 10 % HCl до явно кислой реакции (определяем по метиловому красному).
2. Ставим на плиту и доводим до кипения и осаждаем горячим 10 % хлоридом бария. Приливаем его по **каплям!** и каждую **тщательно размешиваем!** круговыми движениями. При нагревании подкислённого раствора выпадает небольшой хлопьевидный осадок скоагулировавшихся коллоидов.
3. Стакан с осадком закрывают часовым стеклом и кипятят 2-3 минуты. Снимают с плиты и оставляют в покое 2-3 часа в теплом месте для осаждения.
4. На следующий день осадок отфильтровывают через плотный фильтр, промывают стакан и осадок горячей водой подкисленной 10 % соляной кислотой (проверить лакмусовой бумагой). Промывание продолжают до исчезновения реакции на барий (пробу проводят на часовом стекле: берем несколько капель фильтрата и добавляем каплю 10 % H_2SO_4 , если раствор мутнеет, промывание продолжают).
5. Подсушивают фильтр на воронке.
6. Предварительно просушивают фарфоровый тигль в муфельной печи при

температуре 900⁰С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

7. Аккуратно складывают и переносят в просушенный фарфоровый тигль подсушенный фильтр.

8. Фарфоровый тигль помещают в муфельную печь и с момента нагревания до 700 - 800⁰С озоляют 30 минут.

9. Вынимают тигль из муфеля муфельными щипцами и охлаждают в эксикаторе, взвешивают на аналитических весах.

10. Выражают содержание сульфат-иона в процентах и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$SO_4^{-2} \% = m \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O} \times 96,06 / V_2 \times V_3 \times 233,404, (13)$$

где m – масса осадка $BaSO_4$ в граммах,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения общей щёлочности, мл; V_3 –

масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г; K_{H_2O} –

коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы,

96,06 – атомный вес сульфат-иона

233,404 – атомный вес сульфата бария.

Для пересчета процентов в миллиграмм-эквиваленты необходимо полученный результат умножить на 1000 (100 г перевести в мг) и разделить на эквивалентный вес:

$$SO_4^{-2}, \text{мг-экв}/100 \text{ г почвы} = (SO_4^{-2}, \% \times 1000) / 48,03 \quad (14)$$

Эквивалентный вес $SO_4^{-2} = 48,03$

11. Результаты заносят в таблицу 17.

Таблица 17. Форма записи результатов определения сульфат-иона

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K_{H_2O}	Масса, г			SO_4^{-2} мг- экв/100 г	SO_4^{-2} , %
				тигля	тигля с осадком	осадка		

Определение кальция и магния в водной вытяжке

Метод основан на свойстве трилона Б извлекать ионы кальция и магния из их окрашенных растворимых комплексов с металлиндикаторами. Кальций с

трилоном Б образует более прочный комплекс и извлекается в первую очередь, а затем магний.

В момент полного извлечения катионов кальция и магния из комплекса хромогеном синим, окраска раствора изменяется из вишнево-красной до синей, но произойти это может только в слабощелочной среде, поэтому в водную вытяжку вводят хлоридно-аммиачный буфер (смесь NH_4Cl + NH_4OH).

Для определения кальций-иона используют способность трилона Б и его растворимого окрашенного комплекса с индикатором мурексидом изменять окраску из розовой в фиолетовую при щелочной реакции. Магний не образует с мурексидом прочного окрашенного комплекса, поэтому его можно найти расчётным методом.

Лабораторная работа № 12

Определение кальция и магния в водной вытяжке

Приборы и материалы: мерная колба на 200-250 мл, пипетки на 20-25 мл, бюретка.

Реактивы:

1. Хлоридно-аммиачный буфер.
2. 0,05н трилон Б
3. 10 % NaOH
4. Индикаторы: хромоген синий, мурексид.

Ход определения

А) Сумма водорастворимого кальция и магния

1. Проверяем дистиллированную воду на присутствие кальция и магния (к 100 мл прибавить 5 мл хлоридно-аммиачного буфера и 10 капель хромогена синего, перемешивают, при их отсутствии вода окрашивается в синий цвет).
2. Берём aliquоту по 25 мл водной вытяжки и переносим её в две конические колбы, приливаем по 5-10 капель 1 % раствора солянокислого гидроксилamina $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ (для устранения влияния марганца на ход анализа), по 2-3 капли 1% раствора сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (для устранения влияния меди), 75 мл дистиллированной воды, добавляем 5 мл хлоридно-аммиачного буфера и индикатор хромоген синий в каждую (для окрашивания раствора в вишнево-красный цвет) колбу.
3. Титруют содержимое одной из колб 0,05н раствором трилона Б. Вторая колба служит для сравнения окраски. При титровании раствор все время перемешивают. Вишнево-красный цвет вытяжки вблизи точки

эквивалентности приобретает лиловую окраску. Конец титрования устанавливают по появлению сине-голубого цвета.

4. Выражают содержание катионов кальция и магния в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Рассчитывают по формуле:

$$Ca^{+2} + Mg^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы} = (a_1 \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O} \times N) / (V_2 \times V_3), \quad (15)$$

где a_1 – количество трилона Б пошедшего на титрование,

N – нормальность трилона Б,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения суммы $Ca^{+2} + Mg^{+2}$, мл; V_3

– масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г; K_{H_2O}

– коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы. Б)

Определение водорастворимого кальция

5. Берут пипеткой по 25 мл водной вытяжки в две конические колбы объемом по 250 мл.

6. Приливают в каждую по 75 мл дистиллированной воды, лишенной ионов Ca^{2+} и Cu^{2+} .

7. Добавляют по 5-10 капель водного раствора гидроксиламина, по 2-3 капли 1 % раствора сульфида натрия, по 2 мл 10 % раствора КОН или NaOH (для доведения pH раствора до 12) и вносят деревянной лопаточкой мурексид (0,2-0,3г). Раствор должен окраситься в ярко-розовый цвет.

8. Немедленно титруют содержимое одной из колб 0,05н раствором трилона Б до перехода ярко-розовой окраски в фиолетовую (лиловую). Титруют медленно при постоянном перемешивании.

9. Выражают содержание катионов кальция и магния в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы и в процентах. Рассчитывают по формулам:

$$Ca^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы} = (a_2 \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O} \times N) / (V_2 \times V_3), \quad (16) \text{ где}$$

a_2 – количество трилона Б пошедшего на титрование,

N – нормальность трилона Б,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

V_2 – аликвота взятая для определения суммы $Ca^{+2} + Mg^{+2}$, мл; V_3 –

масса почвы взятая для приготовления водной вытяжки, г; K_{H_2O} –

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

$$Ca^{+2}, \% = (Ca^{+2}, \text{мг-экв}/100\text{г} \times 20)/1000. \text{ Эквивалентный вес } Ca^{+2} = 20. \text{ В)}$$

Определение водорастворимого магния

10. Катион магния определяют расчетным путем из количества трилона Б затраченного на определение суммы катионов (кальция и магния) и вычитают пошедшее на титрование ионов кальция в мг-экв/100 г почвы:

$$Mg^{+2}, m\text{г-экв}/100\text{г почвы} = A - B, \quad (17)$$

$$B - \text{Ca}^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы.}$$
$$Mg^{+2}, \% = (Mg^{+2}, \text{мг-экв}/100\text{г почвы} \times 12)/1000. \text{ Эквивалентный вес } Mg^{+2} = 12.$$

11. Результаты заносят в таблице 18.

Таблица 18. Результаты определения катионов кальция и магния

[illegible]

Тема 4. Информационные функции. Целостные функции.

Лабораторная работа №13

«Нормирование загрязняющих веществ в почве»

Цель работы: определить массу и объем осадка, образовавшегося после очистки бытовых сточных вод, который допустимо использовать в качестве удобрения для сельскохозяйственного объекта.

Расчет количества осадка, который возможно использовать в качестве удобрения, проводится по следующей методике:

1. Составляется уравнение материального баланса, исходя из условия равномерного смешивания осадка с плодородным слоем почвы

$$C_{\Phi} \cdot M + C_{OC} \cdot m = C_{CM} (M + m),$$

где C_{Φ} – фоновая концентрация i -го вещества в почве, мг/кг почвы;

M – масса плодородного слоя почвы, кг;

C_{OC} – концентрация i -го вещества в осадке, мг/кг осадка;

m – масса осадка, кг;

C_{CM} – концентрация i -го вещества в почве после смешивания ее с осадком, мг/кг почвы.

Для того чтобы осадок можно было использовать в качестве удобрения, необходимо соблюдение следующего основного условия для каждого вещества:

$$C_{CM} \leq \text{ПДК},$$

где ПДК – предельно-допустимая концентрация i -го вещества в почве, мг/кг почвы.

1. Определяется объем W и масса M плодородного слоя почвы на участке по формулам:

$$W = H \cdot S, M = W \cdot \rho_{\text{п}},$$

где H – мощность почвенного слоя, м;

S – площадь с/х объекта (участка), м^2 ,

$\rho_{\text{п}}$ – плотность почвы, $\text{т}/\text{м}^3$

2. Масса осадка m , подлежащего размещению на участке, определяется по вышеприведенной формуле материального баланса:

$$m = \frac{M \cdot (C_{см} - C_{оф})}{C_{ос} - C_{см}}$$

3. Максимальный объем осадка V , предназначенного для размещения на участке, составит:

$$V = \frac{m}{\rho_{ос}}$$

где $\rho_{ос}$ – плотность осадка, т/м³.

Высота осадка будет равна:

$$h = \frac{V}{S}$$

Пример расчета

Исходные данные

Площадь участка: $S = 0,8$ га

Мощность почвенного слоя: $H = 0,25$ м

Плотность почвенного слоя: $\rho_{п} = 1,53$ т/м³

Фоновое содержание в почвенном слое: $C_{ф} (Cu) = 0,50$ мг/м³

Фоновое содержание в почвенном слое: $C_{ф} (Mn) = 260$ мг/м³

Фоновое содержание в почвенном слое: $C_{ф} (V) = 80$ мг/м³

Фоновое содержание в почвенном слое: $C_{ф} (NO_3^-) = 45$ мг/м³

Содержание в осадке: $C (Cu) = 17$ г/кг

Содержание в осадке: $C (Mn) = 1900$ г/кг

Содержание в осадке: $C (V) = 800$ г/кг

Содержание в осадке: $C (NO_3^-) = 600$ г/кг

Плотность осадка: $\rho_{ос} = 1,40$ т/м³

Ход выполнения работы

1. Составляется уравнение материального баланса, исходя из условия равномерного смешивания осадка с плодородным слоем почвы:

$$C_{ф} * M + C_{ос} * m = C_{см} * (M + m)$$

где $C_{ф}$ – фоновая концентрация i -го вещества в почве, мг/кг почвы;

M – масса плодородного слоя почвы, кг;

$C_{ос}$ – концентрация i -го вещества в осадке, мг/кг осадка;

m – масса осадка, кг;

$C_{см}$ – концентрация i -го вещества в почве после смешивания ее с осадком, мг/кг почвы.

Для того чтобы осадок можно было использовать в качестве удобрения, необходимо соблюдение следующего основного условия для каждого вещества:

$$C_{\text{см}} \leq \text{ПДК}$$

ПДК – предельно-допустимая концентрация *i*-го вещества в почве, мг/кг почвы.

2. Определяется объем *W* и масса *M* плодородного слоя почвы на участке:

$$W = H \cdot S$$

$$M = W \cdot \rho_{\text{п}}$$

где *H* – мощность почвенного слоя, м;

S – площадь с/х объекта (участка), м²;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность почвы, т/м³.

$$\begin{aligned} \text{В данном случае } W &= 0,25 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ га} = 2000 \text{ м}^3; \\ M &= 2000 \text{ м}^3 \cdot 1,53 \text{ т/м}^3 = 3060 \text{ т} \end{aligned}$$

3. Для определения массы осадка по уравнению материального баланса сначала необходимо найти концентрацию меди и нитратов из расчета на кг осадка:

$$C_{\text{ос}} = \frac{C}{\rho_{\text{ос}}}$$

В данном случае:

$$C_{\text{ос}}(Cu) = \frac{17 \text{ г/кг}}{1,40 \text{ т/м}^3} = 12,14 * \text{мг/м}^3$$

$$C_{\text{ос}}(Mn) = \frac{1900 \text{ г/кг}}{1,40 \text{ т/м}^3} = 1357 * \text{мг/м}^3$$

$$C_{\text{ос}}(V) = \frac{800 \text{ г/кг}}{1,40 \text{ т/м}^3} = 571 * \text{мг/м}^3$$

$$C_{\text{ос}}(NO_3^-) = \frac{600 \text{ г/кг}}{1,40 \text{ т/м}^3} = 429 * \text{мг/м}^3$$

4. Масса осадка *m*, подлежащего размещению на участке, определяется по вышеприведенной формуле материального баланса:

$$m = \frac{M * (C_{\text{см}} - C_{\text{ф}})}{C_{\text{ос}} - C_{\text{см}}}$$

В данном случае:

$$m(Cu) = \frac{3060 \text{ т} * (3 \text{ мг/м}^3 - 0,50 \text{ мг/м}^3)}{12,14 \text{ мг/м}^3 - 3 \text{ мг/м}^3} = 837 \text{ т}$$

$$m(Mn) = \frac{3060 \text{ т} * (1000 \text{ мг/м}^3 - 260 \text{ мг/м}^3)}{1357 \text{ мг/м}^3 - 1000 \text{ мг/м}^3} = 6343 \text{ т}$$

$$m(V) = \frac{3060 \text{ т} * (150 \text{ мг/м}^3 - 80 \text{ мг/м}^3)}{571 \text{ мг/м}^3 - 150 \text{ мг/м}^3} = 509 \text{ т}$$

$$m(NO_3^-) = \frac{3060 \text{ т} * (130 \text{ МГ/М}^3 - 45 \text{ МГ/М}^3)}{429 \text{ МГ/М}^3 - 130 \text{ МГ/М}^3} = 870 \text{ т}$$

5. Расчеты показывают, что для меди и нитратов максимально допустимая масса осадка различна, поэтому для размещения осадка следует выбирать минимальное значение размещаемой массы осадка, т.е.

$$m_{\text{ос}} = \min(m(\text{Cu}), m(\text{Mn}), m(\text{V}), m(\text{NO}_3^-)) = 509 \text{ т}$$

При выборе массы осадка, 509 [т], концентрация ванадия в осадке после смешивания составит:

$$C_{\text{ос}}(V) = \frac{C_{\text{ос}}(V) * m_{\text{ос}} + C_{\text{ф}}(V) * M}{m_{\text{ос}} + M} = \frac{571 \text{ МГ/М}^3 * 509 \text{ т} + 80 \text{ МГ/М}^3 * 3060 \text{ т}}{509 \text{ т} + 3060 \text{ т}}$$

$$C_{\text{ос}}(V) = 150 \text{ МГ/М}^3$$

т.е. равное ПДК.

6. Максимальный объем осадка V, предназначенного для размещения на участке, составит:

$$V = \frac{m}{p_{\text{ос}}}$$

где $p_{\text{ос}}$ – плотность осадка, т/м³

Высота осадка:

$$h = \frac{V}{S}$$

В данном случае $V = \frac{509 \text{ т}}{1,40 \text{ т/М}^3} = 363,6 \text{ м}^3$;

$$h = \frac{363,6 \text{ м}^3}{0,8 \text{ га}} = 0,455 \text{ м}$$

Результаты

Осадок, который допустимо использовать в качестве удобрения для с/х объекта.

Масса осадка: $m_{\text{ос}} = 509 \text{ т}$

Объем осадка: $V = 363,6 \text{ м}^3$

Высота осадка: $h = 0,455 \text{ м}$

Концентрация компонентов:

$$C_{\text{ос}}(\text{Cu}) = 12,14 * \text{МГ/М}^3; C_{\text{ос}}(\text{Mn}) = 1357 * \text{МГ/М}^3$$

$$C_{\text{ос}}(V) = 571 * \text{МГ/М}^3; C_{\text{ос}}(\text{NO}_3^-) = 429 * \text{МГ/М}^3$$

Задание. Определить массу m, объем V и высоту h осадка, а также концентрацию всех компонентов в осадке, который допустимо использовать в качестве удобрения для с/х объекта на площади S согласно данным варианта, выбранного по последней цифре в номере списка группы.

Варианты для выполнения задания

Таблица 5.1

Данные для расчета		№ варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Площадь участка S, га		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Мощность почвенного слоя H, м		0,2	0,25	0,3	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,2	0,3
Плотность почвенного слоя $\rho_{\text{п}}$, т/м ³		1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59
Фоновое содержание в почвенном слое $C_{\text{ф}}(x)$, мг/кг	Cu	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,20	0,30	0,40
	Mn	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500
	V	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	NO ₃ ⁻	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Содержание в осадке $C(x)$, г/м ³	Cu	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26
	Mn	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
	V	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
	NO ₃ ⁻	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Плотность осадка $\rho_{\text{ос}}$, т/м ³		1,35	1,30	1,25	1,40	1,20	1,30	1,22	1,26	1,28	1,32
Данные для расчета		№ варианта									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Площадь участка S, га		1,5	1,0	0,9	0,8	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25
Мощность почвенного слоя H, м		0,25	0,2	0,2	0,25	0,3	0,2	0,3	0,25	0,2	0,3
Плотность почвенного слоя $\rho_{\text{п}}$, т/м ³		1,60	1,61	1,62	1,63	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60
Фоновое содержание в почвенном слое $C_{\text{ф}}(x)$, мг/кг	Cu	0,50	0,60	0,70	0,80	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,30
	Mn	230	250	270	290	500	270	470	290	320	360
	V	50	60	80	90	100	120	140	100	80	90
	NO ₃ ⁻	80	85	90	55	50	35	30	40	45	80
Содержание в осадке $C(x)$, г/м ³	Cu	28	30	21	23	15	20	25	17	30	30
	Mn	2600	2700	2800	2900	2000	2200	2600	2400	1800	1600
	V	1500	1600	600	800	1000	900	700	800	400	600
	NO ₃ ⁻	1300	1400	1500	400	600	800	300	500	800	900
Плотность осадка $\rho_{\text{ос}}$, т/м ³		1,34	1,36	1,4	1,38	1,25	1,30	1,40	1,27	1,32	1,36

Таблица 5.2

Предельно допустимые концентрации веществ в почве

Наименование вещества	Медь	Марганец	Ванадий	Нитраты
ПДК, мг/кг почвы	3,0	1000	150	130

Лабораторная работа №14

Загрязнение почв тяжелыми металлами и здоровье человека

Цель работы: закрепление знаний по вопросам влияния тяжелых

металлов на здоровье человека, полученных в лекционном курсе и в результате самостоятельной работы над учебной литературой; установление категории загрязнения почв тяжелыми металлами и соответствующих мелиоративных мероприятий.

Теоретические сведения

Месторождения полезных ископаемых концентрируются в зонах, где существовали наиболее благоприятные факторы для их возникновения, образуя металлогенические провинции и пояса. Так, практически весь Дальний Восток лежит в пределах Тихоокеанского рудного пояса, главными металлами которого являются золото и олово. Дальний Восток России можно смело называть оловянной провинцией страны, ибо здесь сосредоточены практически все разведанные запасы олова и ведется его добыча. Дальнегорский район на севере Приморского края представляет собой свинцово-цинковую металлогеническую провинцию. На территории ДВЭР сосредоточено также и 88 % запасов сурьмы России.

Почвенные условия Дальневосточного региона весьма специфичны. Необходимо отметить, что кларки для большинства тяжелых металлов в почвах Приморья и Приамурья значительно выше, чем в среднем по России. Исключение составляют молибден, хром и медь.

Примерно 90 % тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, аккумулируется почвами. Затем они мигрируют в природные воды, поглощаются растениями и поступают в пищевые цепи. Поступление тяжелых металлов (ТМ) в организм человека происходит по цепи: почва – растение – животное – человек. Продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, способна вызвать кумулятивный эффект, обуславливая постепенное увеличение содержания ТМ в организме теплокровных (человек, животные).

Тяжелые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах и медленно удаляются при выщелачивании, поглощении растениями, эрозии. Период по-

луудаления значительно варьирует для различных элементов и составляет для Zn – 70-310, Cu – 310-1500, Cd – 13-110, Pb – 740-5900 лет.

Токсичность ТМ для живых организмов определяется свойствами и уровнем концентрации самих элементов, их миграционной способностью, степенью накопления в органах и тканях.

У позвоночных животных свыше 90 % всосавшегося свинца фиксируется в костях, а также во внутренних органах. У человека происходят изменения в нервной системе, проявляющиеся в головной боли, головокружениях, повышенной утомляемости, раздражительности, нарушениях сна и памяти. Поражение периферической нервной системы выражается в так называемых свинцовых параличах, приводящих к параличу мышц рук и ног). Основным диагностическим показателем воздействия свинца на здоровье человека является уровень его содержания в крови (концентрация Pb не должна превышать 15 мкг/100 мл у взрослых и 7 мкг/100 мл у детей). При содержании 50-60 мкг/100 мл в поведении человека проявляются признаки депрессии и агрессивности. Установленное экспертами ФАО/ВОЗ максимально допустимое поступление свинца для взрослого человека составляет 3 мг в неделю, т.е. допустимая суточная доза (ДСД) составляет около 0,007 мг/кг массы тела.

К поражению *кадмием* наиболее предрасположены почки и печень, нарушается обоняние, появляются головные боли, боли в суставах и костях. Установленное ВОЗ допустимое поступление кадмия для взрослого человека – 500 мкг в неделю, т.е. допустимое суточное потребление (ДСП) – 70 мкг/сут, а ДСД – 1 мкг/кг массы тела.

По степени токсичности различают: *металлическую ртуть, неорганические и органические соединения ртути*. Отравление парами металлической ртути выражается общей слабостью, повышенной температурой, головной болью, катаральными явлениями со стороны дыхательных путей. Неорганические соединения ртути малолетучи, поэтому опасность возникает при поступлении внутрь организма с пищей и водой. Наиболее опасны органические соединения, так как их

токсическое действие проявляется спустя несколько недель. При этом характерны эмоциональные и психические расстройства. Допустимое недельное поступление ртути не должно превышать 0,3 мг на человека, в том числе метилртути не более 0,2 мг, что эквивалентно 0,005 мг/кг и 0,0033 мг/кг массы тела за неделю.

Медь – один из первых металлов, который человечество начало использовать в чистом виде. Потребление в пищу большого количества солей меди вызывает токсические эффекты у людей и животных. Они, как правило, обратимы. При высоких уровнях содержания ионы меди блокируют SH-группы белков, в особенности ферменты. Суточная потребность взрослого человека в меди – 2-2,5 мг, т.е. 35-40 мкг/кг массы тела, детей – 80 мкг/кг. Однако при нормальном содержании в пище молибдена и цинка – физиологических антагонистов меди, по оценке экспертов ФАО, суточное потребление меди может составлять не более 0,5 мг/кг массы тела (до 30 мг в рационе).

Цинк участвует в ряде важных биологических процессов, особенно ферментативных. Однако избыток цинка оказывает токсическое действие на организм, действуя на желудочно-кишечный тракт (тошнота, рвота, боли в желудке, колики и диарея). 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 поступления его в организм – 10-15 мг.

Высокая концентрация *олова* в пище может привести к острому отравлению (тошнота, рвота и т.д.). Токсичная доза олова для человека составляет 5-7 мг/кг массы тела.

По механизму токсического действия и клинической картине отравления *сурьма* аналогична мышьяку: воспаление слизистой оболочки рта, затрудняющим приём пищи, слюнотечением, а также увеличением шейных лимфатических узлов, желудочно-кишечными расстройствами, бессонницей, головокружением, общей слабостью. Токсичная доза для взрослых – 100 мг/сут, летальная – 500-1000 мг/сут.

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

Таблица 1

Загрязненные почвы и мелиоративные мероприятия на них

Степень загрязнения почв	Характеристика загрязнения почв	Возможное использование	Мелиоративные и организационные мероприятия
Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но меньше ПДК	Под все сельскохозяйственные 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, высокочувствительные к накоплению ТМ. Потребление продукции растениеводства не ограничивается, за исключением использования для производства детского и диетического питания	Известкование, внесение удобрений и сорбентов
Средняя	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Возможно выращивание корнеклубнеплодов, кроме свёклы. Исключается производство столовой зелени (салата, лука, шпината, укропа, петрушки), овощей и ягодных культур. Вводятся ограничения на сбор грибов	Глубокая (30-40 см) вспашка. Известкование, внесение удобрений и сорбентов. Контроль культур на содержание ТМ.
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, ведение семеноводства. Контроль культур на содержание ТМ.

Очень высокая	Содержание химических веществ в почве выше ПДК по всем показателям	Изъятие земель из сельскохозяйственного оборота	Консервация земель. Мониторинг токсикантов
---------------	--	---	--

Примечание: удобрения – органические и минеральные. Сорбенты: торф, мхи, глинистые минералы. Известковая мука по ГОСТ 50261-92.

Лимитирующий показатель вредности – это наименьшее из обоснованных уровней содержания веществ, принимаемое за ПДК и отражающее наиболее уязвимый путь воздействия токсиканта.

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

$$Z_z = \sum K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации элемента, определяемый отношением его содержания в загрязненной почве к фоновому;

n – число химических элементов-загрязнителей.

Показатель Z_z не учитывает токсичность (класс опасности) тяжелых металлов, их возможный антагонизм и синергизм в почвенной и растительной среде. Поэтому по величине показателя Z_z можно провести лишь примерную оценку степени загрязнения почвы и состояния здоровья населения (таблица 2)

Таблица 2

Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв

Категория загрязнения почв	Z_z	Показатели здоровья населения в очагах загрязнения	Коэффициент степени загрязнения почв C_z
Допустимая	<2	Низкий уровень заболеваемости детей	0,0
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	2,0
---------------	-----	---	-----

Задание: требуется установить категорию загрязнения лугово-бурой почвы тяжелыми металлами и показатели здоровья людей.

Исходные данные: валовое содержание тяжелых металлов в лугово-бурой почве следующее (мг/кг): Cu – 72, Co – 35, Zn – 362, Pb – 192. Фоновое содержание этих металлов в лугово-бурой почве приведено в таблице 3. После произведенного расчета (с использованием формулы 1) установить уровень загрязнения почвы, влияние на здоровье человека, необходимые мелиоративные и организационные мероприятия (с использованием таблиц 1-3).

Таблица 3

Фоновое содержание валовых форм ТМ в пахотном слое почв, мг/кг

Почвы	Zn	Cu	B	Co	Ni	Pb
Бурые лесные	73	22	63	24	65	22
Буро-подзолистые	63	22	83	26	59	44
Лугово-бурые	74	18	62	16	40	28
Луговые глеевые	53	26	48	14	44	25
Пойменные	66	18	58	20	36	31

Контрольные вопросы:

1. Используя литературные источники, расскажите о распространении, токсичности, формах нахождения в почвах тяжелых металлов.
2. Каковы механизмы поглощения, трансформации и метаболизма тяжелых металлов в органах и тканях растений?
3. Распределение тяжелых металлов в растениях.
4. Перечислите приемы по снижению загрязнения почв тяжелыми металлами.
5. Назовите меры по снижению негативного влияния тяжелых металлов на здоровье человека.

Тема 5. Глобальные функции почв.

Лабораторная работа № 15 Глобальные функции почв

Цель работы: Изучить роль почвенного покрова в глобальных биогеохимических циклах, климатической системе и устойчивости биосферы; освоить методы оценки вклада почв в глобальные экосистемные услуги.

1. Теоретическое введение

1.1. Определение

Глобальные функции почв – это совокупность процессов и свойств педосферы, которые обеспечивают регуляцию биосферных процессов на планетарном уровне, включая круговороты элементов, энергообмен, поддержание состава атмосферы и глобального биоразнообразия.

Выделяют 5 главных глобальных функций (по Г.В. Добровольскому, Э.Д. Никитину):

Функция	Сущность	Глобальное значение
Климаторегулирующая	Депонирование углерода (CO ₂ , CH ₄); регулирование потоков парниковых газов	Почвы содержат ~1500–2400 Гт С – больше, чем атмосфера (~850 Гт) и растительность (~600 Гт)
Гидросферно-регулирующая	Трансформация осадков в грунтовые воды, фильтрация, противопаводковая буферность	Почвы контролируют 75% мирового речного стока
Биогеохимическая (циклическая)	Круговороты С, N, P, S, металлов; деградация ксенобиотиков	Без почвенного блока циклы элементов размыкаются
Энергетическая	Трансформация солнечной энергии в химическую (гумус, биомасса) и тепловую	Формирует ресурсную базу для гетеротрофов
Биосферно-аккумулятивная	Сохранение глобального генофонда (в 1 г почвы – до 10 ¹⁰ бактерий, тысячи видов)	Почва – крупнейший резервуар биоразнообразия на суше

1.2. Почва как регулятор парникового эффекта

- Эмиссия: дыхание почвы (микроорганизмы, корни) – 50–75 Гт С/год.
- Секвестрация: нетто-поглощение при фотосинтезе и гумусообразовании.
- Баланс: антропогенная деградация почв (распашка, эрозия, осушение торфяников) переводит почву из стока в источник CO₂.

1.3. Место России в глобальных почвенных функциях

- Россия обладает ~20% мировых запасов почвенного органического углерода (в основном за счёт торфяников, мерзлотных и чернозёмных почв).
- Таяние вечной мерзлоты высвобождает древний углерод (эффект «бомбы замедленного действия»).

2. Оборудование и материалы

- Калькулятор / Excel
- Распечатанные карты: «Глобальное распределение почвенного органического углерода (GSOCmap)», «Зоны деградации почв (GLASOD)»
- Таблица с исходными данными (см. задание 2)
- Доступ к интернету (опционально) для работы с FAO Soils Portal

ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Задание 1. Анализ вклада разных типов почв в глобальные функции (работа с картой / таблицей)

Используя прилагаемую таблицу (или фрагмент карты GSOC), ранжируйте почвенные типы по трём глобальным функциям:

А – углерододепонирующая (запас С, т/га),

В – водорегулирующая (скорость инфильтрации, мм/час),

С – биоразнообразие (число таксонов беспозвоночных в 1 м²).

Почвенный тип	Запас С, т/га	Инфильтрация, мм/ч	Богатство мезофауны (отн. ед.)
Подзол (таёжный)	120	50	25
Чернозём (степь)	280	80	45
Торфяник (олиготрофный)	950	30 (верховодка)	15
Краснозём (влажные тропики)	160	120	80
Солонец (аридный)	40	10	8
Пустынная почва	15	5	3

Задания 1.1 – 1.3:

1. Постройте гистограмму запасов углерода (по 6 типам).
2. Какой тип почвы выполняет водорегулирующую функцию лучше всего? Объясните механизм.
3. Почему тропические почвы при умеренном запасе С обладают максимальным биоразнообразием? Сформулируйте гипотезу.

Задание 2. Расчёт глобального углеродного следа от деградации почв (кейс)

Исходные данные:

Площадь деградированных почв в мире ≈ 2 млрд га. Средние потери органического углерода при деградации – 30 т/га (переход в CO₂ за счёт эрозии, минерализации гумуса).

Коэффициент пересчёта углерода в CO_2 : $1 \text{ т С} = 3,67 \text{ т CO}_2$.

Доля антропогенной эмиссии CO_2 от деградации почв в глобальном бюджете (оценить).

Рассчитайте:

1. Общее количество углерода (Гт), потерянное при деградации ($\text{С_потери} = \text{площадь} \times \text{потеря С на га}$).
2. Массу выброшенного CO_2 (Гт).
3. Сравните с ежегодными глобальными выбросами CO_2 от сжигания ископаемого топлива ($\sim 36 \text{ Гт CO}_2/\text{год}$). Выразите результат в процентах.
4. Сделайте вывод: какую долю в антропогенные выбросы вносит деградация почв (только углеродный аспект).

Дополнительно (по желанию): Рассмотрите торфяники: осушение 1 млн га торфяника (запас С $\sim 2000 \text{ т/га}$) приводит к эмиссии $\sim 0,2 \text{ Гт CO}_2/\text{год}$. Оцените вклад России (30% мировых торфяников).

Задание 3. Концептуальная карта «Глобальные функции почв и угрозы им»

Нарисуйте (или создайте в цифровом виде) схему, в центре которой «Почва – глобальный регулятор». От неё расходятся 5 глобальных функций. Каждую функцию соедините с:

- Двумя экосистемными услугами (например, для климаторегулирующей – поглощение CO_2 , охлаждение микроклимата);
- Двумя глобальными угрозами (например, деградация торфяников, таяние мерзлоты).

Пример начала схемы:

Климаторегулирующая → услуги: секвестрация углерода, снижение альбедо? (нет, альбедо – скорее растительность). Уточнить: регулирование парниковых газов.

Угрозы: сжигание торфяников, эмиссия из-за эрозии.

Задание 4. Анализ глобальной инициативы: «4 per 1000» (4‰)

Программа «4 per 1000» (инициатива Франции, COP21) предполагает ежегодное увеличение запаса органического углерода в верхнем слое почв (0–40 см) на 0,4‰ для компенсации антропогенных выбросов CO_2 .

Исходные данные (условно):

Средний запас С в мировых почвах (0–40 см) $\approx 86 \text{ т/га}$.

Площадь земель, вовлечённых в сельское хозяйство – 5 млрд га.

Рассчитайте:

1. Какую дополнительную массу углерода (Гт) необходимо ежегодно фиксировать на 1 га для выполнения 0,4% прироста?

$$\text{Формула: } \Delta C_{\text{га}} = C_{\text{запас}} * 0,004.$$

2. Общий глобальный дополнительный запас углерода (Гт/год) на всех сельхозземлях.

3. Переведите в CO₂ (Гт/год).

4. Какую долю от текущих антропогенных выбросов (36 Гт CO₂/год) могло бы компенсировать полное выполнение инициативы?

Вывод: реально ли это достижимо с учётом современных агротехнологий (нулевая обработка, сидераты, органические удобрения)? Краткое обоснование (2–3 предложения).

Контрольные вопросы:

1. Перечислите 5 глобальных функций почв и кратко охарактеризуйте каждую.

2. Почему почву называют «самым большим углеродным резервуаром суши»? Приведите численные оценки (Гт С).

3. Как деградация почв (эрозия, дегумификация, осушение торфяников) влияет на парниковый эффект? Опишите механизмы.

4. Какие глобальные последствия может иметь таяние вечной мерзлоты для почвенной эмиссии метана и CO₂?

5. В чём заключается гидросферно-регулирующая функция почв на глобальном уровне? Приведите пример нарушения этой функции (вырубка лесов, урбанизация).

6. Как связаны глобальное биоразнообразие и почвенное разнообразие? Почему потеря почвенного покрова ведёт к невосполнимой утрате генофонда?

7. Оцените роль международных соглашений (UNCCD, РКИК ООН, «4 per 1000») в сохранении глобальных функций почв.

8. (Расчётная задача) Если все леса Амазонии будут вырублены, как изменится глобальная функция почв региона (водорегулирующая, углеродная)? Опишите каскад эффектов.

Тема 6. Влияние почв на атмосферу.

Ниже представлена **лабораторная работа** для студентов-экологов по теме **«Влияние почв на атмосферу»**, которая охватывает регуляторную роль почв в газовом составе, связь круговоротов, дифференциацию географической оболочки и эволюционное значение. Работа содержит теоретический блок, практические задания (включая расчёты потоков газов, анализ схем и эволюционные кейсы) и контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 16 Влияние почв на атмосферу. Почва как регулятор газового состава, связующее звено круговоротов и фактор биологической эволюции

Цель работы: изучить механизмы влияния почвенного покрова на газовый состав атмосферы (парниковые газы, кислород, азот). Освоить представления о почве как центральном звене малого (биологического) и большого (геологического) круговоротов. Понять роль почвы в пространственной дифференциации биосферы и как фактора эволюции наземных организмов.

1. Теоретическое введение

1.1. Почва – регулятор газового состава атмосферы

Почва одновременно является источником и поглотителем основных климатически активных газов:

Газ	Основные почвенные процессы	Направление потока	Глобальная значимость
CO ₂	Дыхание корней и микроорганизмов, разложение органики	Эмиссия (50–75 Гт С/год)	Крупнейший поток в углеродном цикле
CH ₄	Метаногенез в анаэробных условиях (рисовые чеки, болота, мерзлота)	Эмиссия	30% глобального метана – из почв
CH ₄	Метаноокисление (аэробные почвы)	Поглощение	Сток до 30 млн т/год
N ₂ O	Денитрификация, нитрификация (особенно при внесении азотных удобрений)	Эмиссия	~60% антропогенной N ₂ O из почв
O ₂	Поглощение при дыхании, выделение при фотосинтезе (через растения)	Преимущественно поглощение	Локальное значение
H ₂ S, CO, NO _x	Анаэробное разложение, процессы в ризосфере	Эмиссия	Влияние на химию атмосферы

Ключевой механизм: почвенный покров через активность микроорганизмов, растений и физико-химические процессы сопрягает потоки газов между литосферой, гидросферой и атмосферой.

1.2. Почва – связующее звено круговоротов

- Малый (биологический) круговорот: элементы (C, N, P, S) извлекаются из почвы растениями → поступают в консументы → возвращаются в почву с опадом и экскрементами → минерализуются и вновь усваиваются.

- Большой (геологический) круговорот: выветривание горных пород →

поступление элементов в почву → вынос с водным стоком в океан → осаждение и формирование осадочных пород → поднятие и новое выветривание.

Роль почвы: именно в почве пересекаются и замыкаются эти два круговорота. Почва преобразует геохимические потоки в биологически доступные формы и наоборот – переводит органические остатки в состав гумуса, который может длительно консервироваться (переход в большую геологическую стадию).

1.3. Почва как фактор дифференциации географической оболочки и биосферы

- Разнообразие почв (зональные типы: подзолы, чернозёмы, краснозёмы и др.) определяет пространственную структуру биосферы – смену растительных сообществ, животного населения, микроклимата.

- Почвенные горизонты создают экологические ниши для тысяч видов организмов, усиливая биогеографическую неоднородность.

- Почва выступает буфером и регулятором теплового и водного режимов суши, что напрямую влияет на формирование климатов разных регионов (пример: альбедо почв, теплоёмкость).

1.4. Почва как фактор биологической эволюции

- Почва – среда, в которой возникли и развились ****наземные экосистемы****. Выход растений и животных на сушу стал возможен благодаря формированию почвенного покрова.

- Почвенные условия (кислотность, влажность, аэрация, наличие токсичных веществ) служат движущей силой естественного отбора – приводят к адаптациям (корневые системы, микориза, дыхательные структуры у животных).

- Почвенное разнообразие стимулирует ****видообразование**** за счёт изоляции популяций в разных почвенно-экологических условиях (например, эндемичные виды на серпентинитовых почвах).

2. Оборудование и материалы

- Калькулятор / Excel
- Таблицы с потоками парниковых газов для разных экосистем (предоставлены ниже)
- Распечатанные схемы круговоротов углерода и азота
- Карта «Почвенно-географическое районирование мира» (упрощённая)
- Листы для построения графиков и схем

ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Задание 1. Расчёт вклада почвенных эмиссий в парниковый эффект (количественный анализ)

Дано: Средние потоки парниковых газов из почв разных биомов (в пересчёте на CO₂-эквивалент, с учётом ПГП: CH₄ в 28 раз > CO₂, N₂O в 265 раз > CO₂ за 100 лет).

Биом	Эмиссия CO ₂ (т С/га/год)	Эмиссия CH ₄ (кг С/га/год)	Эмиссия N ₂ O (кг N/га/год)
Тропический лес	12	0,5 (с анаэробных участков)	0,8
Умеренный лес	5	0,1	0,3
Степь (чернозём)	3,5	0,05	0,4
Торфяник (осушенный)	15	20 (сильные выбросы)	2,0
Рисовое поле	8	25	1,5

Задание:

1. Для каждого биома пересчитайте эмиссию всех трёх газов в т CO₂-экв/га/год.

- CO₂: 1 т С → 3,67 т CO₂ (молярное соотношение).

- CH₄: 1 кг С-CH₄ → 1,33 кг CH₄? Внимание: пересчёт через массу С: молярная масса CH₄ = 16, С = 12, значит, 1 кг С в CH₄ соответствует (16/12) кг CH₄. Затем умножаем на ПГП=28, получаем CO₂-экв. Упрощённо: 1 кг С-CH₄ = 28 × (16/12) ≈ 37,3 кг CO₂-экв.

- N₂O: 1 кг N-N₂O → (44/28) кг N₂O ≈ 1,57 кг N₂O; затем ×265 → 416 кг CO₂-экв.

Можно использовать готовые коэффициенты (даны в методичке).

2. Постройте столбчатую диаграмму суммарной эмиссии (т CO₂-экв/га/год) для всех пяти биомов.

3. Какой биом даёт наибольший вклад в радиационное воздействие? Почему?

4. Оцените глобальный поток из почв (Гт CO₂-экв/год), если площади: тропические леса – 15 млн км², умеренные леса – 12 млн км², степи – 15 млн км², торфяники (осушенные) – 0,5 млн км², рисовые поля – 1,5 млн км².

5. Сравните полученную цифру с глобальной антропогенной эмиссией (~52 Гт CO₂-экв/год). Сделайте вывод.

Задание 2. Построение схемы «Почва – связующее звено малого и большого круговоротов»

На листе формата А4 (или в электронном виде) создайте авторскую схему, включающую:

- Малый круговорот (растения → опад → гумус → минеральные элементы → растения).

- Большой круговорот (выветривание материнской породы → почвенный раствор → подземный и поверхностный сток → осаждение в океане → диагенез → поднятие пород → новое выветривание).

- Переходные звенья, где почва выступает посредником (например, образование гумуса, фиксация атмосферного азота, химическое

выветривание минералов в почве).

Обязательно подписать: потоки элементов (C, N, P, Ca), масштабы времени (годы для малого, миллионы лет для большого), роль микроорганизмов и корневых выделений.

Задание 3. Влияние почвы на дифференциацию географической оболочки (анализ кейса)

Используя карту почв мира (прилагается или из интернета), выберите три контрастных почвенных зоны: арктические почвы (тундровые), подзолы (тайга), чернозёмы (степь), краснозёмы (влажные субтропики), солончаки (пустыни).

Для каждой зоны заполните таблицу:

Зона (почвенный тип)	Растительность (зональная)	Типичный газовый поток (преобладающий)	Особенности климата, формируемые почвой
Тундровые глеезёмы	...	Эмиссия CH ₄ (мерзлотные процессы)	...
Подзолы	...	...	...
Чернозёмы	...	...	...

Вопросы для вывода:

- Как почва определяет зональную структуру биосферы? Приведите 2 механизма.
- Как изменение почвенного покрова (например, распашка степей) повлияло бы на региональный климат и газовый состав атмосферы?

Задание 4. Эволюционный кейс: «Почва как движущая сила адаптаций»

Прочитайте текст (вымышленный, но основанный на реальных данных):

- На серпентинитовых почвах (с высоким содержанием тяжёлых металлов – Ni, Cr, Co, низким Ca/Mg отношением, токсичностью) сформировалась уникальная флора. Растения-эндемики (например, *Streptanthus polygaloides*) накапливают никель в тканях до 0,5% сухой массы, что защищает их от насекомых-фитофагов. На соседних «нормальных» почвах те же виды не выживают.*

Задания:

1. Объясните, какой эволюционный механизм (изоляция, отбор, адаптивная радиация) иллюстрирует этот пример.

2. Почему такие почвы называют «эволюционными островами»?
3. Предложите гипотетический эксперимент: как проверить, является ли устойчивость к никелю наследственным признаком, возникшим в результате воздействия почвы, а не случайной мутацией?
4. Сформулируйте общий вывод о роли почвенного разнообразия в поддержании глобального биоразнообразия и видообразовании (3–4 предложения).

Контрольные вопросы

1. Какими процессами почва регулирует концентрацию CO_2 в атмосфере? Назовите масштабы эмиссии и поглощения.
2. Почему осушение торфяников переводит их из стока метана в мощный источник CO_2 и N_2O ?
3. Сравните малый и большой круговороты с позиции почвы: какие элементы и в каких формах передаются из одного в другой?
4. Как почва может быть фактором дифференциации географической оболочки? Приведите пример взаимосвязи «почва – климат – растительность».
5. Объясните фразу: «Почва – память биосферы и ландшафта» (в контексте эволюции).
6. Как изменение газового режима почвы (аэрация, E_h , pH) влияет на соотношение эмиссии CH_4 и CO_2 ?
7. Почему серпентинитовые, гипсовые и известняковые почвы часто являются центрами эндемизма? Какие эволюционные гипотезы это объясняют?
8. Расчётная задача: В сухой степи при распашке ежегодные потери гумуса составляют 1,5 т С/га. Оцените дополнительную эмиссию CO_2 в атмосферу (т CO_2 /га) и сравните с эмиссией от сжигания 1 т угля ($\approx 2,8$ т CO_2). (1 т С $\rightarrow$ 3,67 т CO_2).
9. Какое значение имеет микориза в регуляции газообмена почвы с атмосферой?
10. Как таяние вечной мерзлоты влияет на глобальный баланс парниковых газов и почему это относится к почвенно-атмосферным связям?

Тема 7. Общебиосферные и этносферные функции

Лабораторная работа № 17 Общебиосферные и этносферные функции почвенного покрова. Почва как фактор биологической эволюции (включая эволюцию человека), дифференциации географической оболочки и связующее звено круговоротов

Цель работы: расширить представления о почве как планетарном

феномене, интегрирующем биосферные и социально-исторические процессы (этносфера). Выявить механизмы влияния почвенного покрова на эволюцию организмов, включая человека. Проанализировать исторические примеры зависимости цивилизаций от почвенного плодородия и деградации почв как факторов этногенеза и этноцида.

1. Теоретическое введение (ключевые понятия)

1.1. Общебиосферные функции почв (краткое напоминание)

Почва участвует в глобальных циклах С, N, S, P, регулирует газовый состав атмосферы, водный баланс суши, является крупнейшим резервуаром биоразнообразия. Эти функции обеспечивают устойчивость биосферы в целом.

1.2. Этносферные функции почв – новое понятие

Этносфера – сфера взаимодействия человеческих обществ с природной средой. Почва выполняет следующие этносферные функции:

Функция	Проявление	Пример
Ресурсно-расселенческая	Плодородные почвы – центры возникновения и расселения народов	Долины Нила, Инда, Хуанхэ – колыбели цивилизаций
Агро-экосистемная	Обеспечение продовольственной базы этноса, формирование культурных ландшафтов	Террасное земледелие в Андах, рисовые чеки в Юго-Восточной Азии
Социально-регуляторная	Деградация почв → голод → социальные коллапсы, миграции, войны	Засоление Месопотамии, «Пыльный котёл» в США (1930-е)
Культурно-историческая	Почва как «память ландшафта» (артефакты, погребальные курганы, священные земли)	Курганы скифов на чернозёмах, почвенные горизонты, скрывающие древние поселения

1.3. Почва как фактор биологической эволюции (новый ракурс – эволюция человека)

- Абиотические фильтры: свойства почвы (рН, содержание микроэлементов, токсичность) создают локальные условия отбора, приводя к эндемизму и адаптациям. Для человека: распространение зоба в регионах с дефицитом йода в почвах (фенотипическая и генетическая адаптация?).

- Эволюция прямохождения: переход к жизни на открытых пространствах (почвы саванн с низким плодородием, редколесья) стимулировал развитие бипедализма.

- Неолитическая революция: именно почвы с высоким потенциалом плодородия (аллювиальные, лёссовые) стали местом одомашнивания злаков – это изменило эволюцию человека (переход к оседлости, рост популяции, социальная стратификация).

- Козволюция почва – микроорганизмы – человек:** формирование микробиома человека, связанное с почвенными бактериями (гипотеза

«старых друзей»).

1.4. Почва как связующее звено круговоротов (этносферный аспект)

Этнос изымает из биологического круговорота значительную часть биомассы (урожай) и выводит её за пределы почвенной системы (потребление, вывоз). Это ослабляет малый круговорот и усиливает геологический вынос элементов (эрозия, потеря гумуса). Таким образом, этнос может «размыкать» круговороты, что приводит к деградации почв – классический пример нарушения баланса.

1.5. Почва и дифференциация географической оболочки (этносферный взгляд)

Разнообразие почв (зональное и аazonальное) формирует культурно-ландшафтные зоны – ареалы традиционного природопользования, типов поселений, даже кухонь и верований. Границы почвенных зон часто совпадают с границами этносов (например, чернозёмная полоса – зона славянской оседлости, подзолы – финно-угорские народы).

2. Оборудование и материалы

- Контурные карты мира (физическая, почвенная, историческая) – распечатки или цифровые версии.
- Таблицы с характеристиками почв древних цивилизаций (см. задание 1).
- Тексты-кейсы: «Месопотамия: гибель от засоления» и «Пыльный котёл – экологическая катастрофа 1930-х».
- Калькулятор, Excel (для задания 5).

ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Задание 1. «Почва – колыбель цивилизаций» (историко-географический анализ)

Заполните таблицу, используя карты почв мира и исторические атласы (или учебные материалы). Для каждой из перечисленных древних цивилизаций определите:

- Тип(ы) преобладающих почв (по классификации FAO или российской).
- Ключевое свойство этих почв, способствовавшее расцвету (плодородие, водный режим, лёгкость обработки).
- Пример экологического кризиса, связанного с почвенной деградацией (если известен).

Цивилизация	Регион (река)	Преобладающий тип почв	Благоприятное свойство	Деградация (причина, последствия)
Древний Египет	Нил	Аллювиальные (нильские илы)	Ежегодное естественное	(почти не было, но

			удобрение, лёгкость обработки	позднее засоление при орошении)
Месопотамия (Шумер)	Тигр, Евфрат	Аллювиальные, солончаковые (вторичное засоление)	Высокое плодородие при орошении	Засоление → падение урожайности → упадок городов- государств
Древняя Индия (Хараппа)	Инд	Аллювиальные (плодородные илистые)	Высокая продуктивность	Не доказана; скорее изменение русел рек
Древний Китай (Шан)	Хуанхэ	Лёссовые (жёлтозёмы)	Легко обрабатываются, богаты микроэлементам и	Эрозия лёссов (легенда о «горестях из- за Жёлтой реки»)
Цивилизация мая	Центральная Америка (Юкатан)	Краснозёмы (ферраллитные), с низким плодородием (после подсечно- огневого земледелия)	Относительное – после сжигания леса	Эрозия и истощение → коллапс классического периода
Скифы (кочевой этнос)	Причерноморски е степи	Чернозёмы обыкновенные	Высокое естественное плодородие для пастбищ	(сами не деградировали , но распашка русскими позже вызвала эрозию)

Вывод (2–3 предложения): как почвенные ресурсы определяли взлёт и падение древних обществ?

Задание 2. Эволюционный кейс: «Почва как фактор микроэволюции человека»

Прочитайте описание двух реальных ситуаций. Для каждой объясните, какой эволюционный механизм (естественный отбор, адаптация, дрейф генов, фенотипическая пластичность) мог действовать и какую роль сыграли почвенные условия.

Ситуация А (йододефицит). В регионах с бедными йодом почвами (например, Альпы, Гималаи, Восточная Европа) исторически распространён эндемический зоб. Современные исследования показывают, что у местных популяций частота генов, связанных с эффективным захватом йода щитовидной железой, выше, чем у населения из регионов с нормальным содержанием йода в почвах.

Ситуация Б (лактазная переносимость). Способность переваривать молоко во взрослом возрасте широко распространена у народов, традиционно занимающихся скотоводством (европейцы севернее Альп, африканские масаи, арабы-кочевники). Скотоводство возникло в регионах с определёнными почвенно-климатическими условиями (степные и полупустынные почвы, непригодные для земледелия).

Задания:

1. Для каждой ситуации определите селективный фактор, связанный с почвой (дефицит элемента / тип почвы, обусловивший хозяйственный уклад).
2. Какой признак (фенотип) был объектом отбора? Назовите предполагаемый генотип (для лактазы – ген LCT, для йода – например, ген NIS или связанные с тиреоидными гормонами).
3. Почему эти адаптации не являются повсеместными? (отсутствие давления отбора в других почвенных условиях).
4. Сформулируйте общий тезис о роли почвенного разнообразия в формировании генетического разнообразия человека (3–4 предложения).

Задание 3. Построение схемы «Интеграция этносферных и биосферных функций почвы»

На листе А4 (или в цифровом виде) создайте концептуальную схему, в центре которой – почва. От неё расходятся две крупные группы функций:

Биосферные функции (глобальные циклы, среда обитания, регуляция климата и воды) – обозначьте зелёным.

Этносферные функции (ресурсная, агроэкосистемная, социально-регуляторная, культурная) – обозначьте оранжевым.

Между ними покажите стрелки обратных связей (примеры):

- Интенсивное земледелие (этносфера) → потеря гумуса → снижение биосферной углеродной функции.
- Деграляция почв → миграция этносов (социально-регуляторная функция) → изменение растительного покрова (биосфера).
- Культурное почитание почвы (священные рощи) → сохранение биоразнообразия (биосфера).

Оценивается количество и качество связей (минимум 4 обратные связи).

Задание 4. Сравнительный анализ исторических катастроф: «Почва, голод и коллапс»

Изучите два текста (выдаются преподавателем или из открытых

источников):

Кейс 1. Месопотамия (3000–1500 гг. до н.э.).** Оросительное земледелие привело к подъёму грунтовых вод и накоплению солей. Постепенно пшеницу заменил более солеустойчивый ячмень, затем урожаи упали на 50–70%. Города пустели, цивилизация шумеров пришла в упадок.

Кейс 2. Пыльный котёл (США, 1930-е). Распашка прерий (чернозёмовидных почв) под пшеницу, засуха, отсутствие севооборотов → катастрофическая ветровая эрозия («черные бури»). Слой почвы толщиной до 10 см был сдут, погибли урожаи, сотни тысяч фермеров разорились и мигрировали (вспомните «Гроздь гнева» Стейнбека).

Заполните сравнительную таблицу:

Критерий	Месопотамия (Шумер)	Пыльный котёл (США)
Тип деградации (засоление, эрозия, истощение)	...	...
Природные предпосылки	...	...
Антропогенные ошибки	...	...
Социальные последствия	...	...
Скорость процесса (быстро/медленно)	...	...
Была ли восстановлена почва?	...	...

Вывод: какие уроки эти два примера дают для современного природопользования? (Не менее 3 тезисов).

Задание 5. Расчёт устойчивости этноса: «На сколько поколений хватит почвы?»

Исходные данные (гипотетический древний этнос):

- Площадь обрабатываемых почв – 10 000 га.
- Исходное плодородие (средняя урожайность зерна) – 12 ц/га.
- Ежегодные потери почвы из-за эрозии – 0,5% от площади пашни (переход в необрабатываемые земли).
- Ежегодное снижение урожайности на оставшихся землях – 2% от текущего уровня (из-за истощения).
- Численность этноса – 20 000 человек.
- Потребление зерна на душу – 200 кг/год (0,2 т).
- Прирост населения – 0% (стационарная популяция).

Задания:

1. Рассчитайте, на какой год общий сбор зерна станет ниже минимальной потребности этноса ($20\,000 \times 0,2 = 4000$ т/год).

Указание: нужно построить итерацию по годам:

- Каждый год площадь сокращается: $S(n) = S(n-1) \times (1 - 0,005)$.

- Урожайность снижается: $Y(n) = Y(n-1) \times (1 - 0,02)$.

- Общий сбор = $S(n) \times Y(n)$.

Можно использовать Excel или ручной расчёт для 5–10 шагов, затем экстраполяцию.

2. Постройте график ****общего сбора (т/год) vs время (годы)****. Отметьте порог голода (4000 т).

3. Сколько лет (или поколений, считая 25 лет за поколение) потребуется этносу, чтобы впасть в продовольственный кризис?

4. Как изменится результат, если этнос освоит противоэрозионные мероприятия (снижение потерь площади до 0,1% в год, падение урожайности до 0,5% в год)? Сделайте качественный вывод.

Вывод: роль почвенного плодородия в долговременной устойчивости этноса (1–2 предложения).

Контрольные вопросы

1. Что такое этносферные функции почвы? Перечислите не менее трёх и приведите примеры.

2. Почему долину Нила называют «даром Нила», но та же почва в Месопотамии привела к катастрофе? Какая разница в свойствах аллювиальных почв и технологиях орошения?

3. Как почвенные условия (на примере йододефицита или избытка стронция) могли влиять на естественный отбор в популяциях человека? Приведите один доказанный пример.

4. Объясните фразу: «Почва – это память этноса». Как археологи используют почвенные горизонты для датировки переселений?

5. Какое отношение имеет неолитическая революция к почвам? Почему именно лёссовые и аллювиальные почвы стали колыбелью первых земледельческих цивилизаций?

6. Сравните биосферные и этносферные функции почвы по двум критериям: масштаб действия (глобальный/региональный) и скорость изменений (геологическая/историческая).

7. Приведите пример позитивной обратной связи между этносферой и биосферой через почву (когда деятельность этноса улучшает биосферные функции).

8. Что означает «размыкание малого биологического круговорота» этносом? Какие последствия это имеет для почвы и для самого этноса?

9. Почему «Пыльный котёл» 1930-х годов в США привёл к созданию государственных программ охраны почв (NRCS), а древние цивилизации часто не оставляли письменных свидетельств об уроках? (дискуссионный вопрос).

10. (Творческий) Может ли современная наука предложить «почвенный предел» для численности населения Земли, учитывая этносферные функции? Обоснуйте.

Тема 8. Научные основы сохранения и рационального использования почв.

Лабораторная работа № 18 Рациональное использование, охрана ресурсов биосферы и экология почв. Разработка принципов и систем рационального природопользования с учётом экологических функций почв в биосфере

Цель работы: Освоить научные принципы рационального использования почв как компонента биосферы. Научиться разрабатывать почвозащитные системы землепользования с учётом экологических функций почв. Провести анализ нормативных, экономических и агротехнических инструментов сохранения почвенных ресурсов.

1. Теоретическое введение (ключевые понятия)

1.1. Принципы рационального использования почв (научные основы)

Принцип	Сущность	Пример реализации
Соответствие функций почвы типу использования	Использовать почву только в рамках её природных возможностей (без деградации)	Не распахивать склоны >3° под пропашные культуры
Воспроизводство плодородия	Компенсировать вынос элементов с урожаем внесением удобрений и органики	Расчёт баланса гумуса, возврат соломы
Ландшафтно-экологическое зонирование	Дифференциация земель по чувствительности к нагрузке	Выделение буферных зон, водоохраных полос
Презумпция экологической ответственности	Любое вмешательство требует доказательства безопасности	ОВОС при землеотводах
Приоритет сохранения природных функций	При конфликте хозяйственной и биосферной функций приоритет – биосферной	Запрет распахки заказников

1.2. Системы рационального природопользования с учётом экологических функций почв

- Адаптивно-ландшафтное земледелие – размещение культур и технологий по элементам рельефа, почвенным разностям.
- Контурно-мелиоративное земледелие – обработка и посев вдоль горизонталей, полосное размещение культур.
- Органическое земледелие – отказ от синтетических удобрений и пестицидов, сохранение почвенной биоты.
- Агролесомелиорация – создание полезащитных лесополос для борьбы с эрозией.

1.3. Правовые и экономические механизмы охраны почв (Россия и международный опыт)

- Земельный кодекс РФ, Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (ст. 62 – охрана земель).
- ГОСТы и СанПиНы – нормативы ПДК химических веществ в почве.
- Плата за негативное воздействие (размещение отходов, сбросы загрязняющих веществ на рельеф).
- Сертификация органической продукции** (стимулирует почвосберегающие технологии).
- Международные инициативы: UNCCD (борьба с опустыниванием), «4 per 1000».

1.4. Показатели рационального использования почв

Показатель	Норма (для пашни лесостепи)	Оценка
Баланс гумуса (т/га/год)	≥ 0 (неотрицательный)	Если отрицательный – деградация
Коэффициент эродированности (доля эродированных почв)	$< 0,3$	$>0,5$ – нерационально
Содержание агрономически ценных агрегатов ($>0,25$ мм)	$>40\%$	При снижении – ухудшение структуры
Водопроницаемость (мм/ч) для суглинка	>60	Запыливание → эрозия

2. Оборудование и материалы

- Топографическая карта (учебная) или схема землепользования с нанесёнными почвенными контурами, уклонами (выдаётся преподавателем).
- Калькулятор, Excel.
- Нормативные таблицы: ПДК, ОДК для тяжёлых металлов, пестицидов; нормативы выноса элементов.
- Бланки для расчёта баланса гумуса и эрозионного индекса.
- Справочные материалы по почвозащитным технологиям.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Задание 1. Разработка системы рационального землепользования для конкретного хозяйства (проектное)

Исходные данные (условное хозяйство «Почвовед»):

- Общая площадь – 5000 га.
- Почвенный покров: чернозёмы типичные (60% площади, уклоны $0-2^\circ$); чернозёмы выщелоченные (25%, уклоны $2-5^\circ$); солонцы и солончаки (15%,

равнинные, но засоленные).

- Климат: умеренно-континентальный, сумма осадков 450 мм/год, ветры преимущественно юго-западные.

- Текущее использование: вся пашня (3000 га) занята монокультурой подсолнечника и пшеницы, поля обрабатываются вдоль склонов.

- Признаки деградации: эрозия на 20% пашни (смыв до 15 т/га/год), снижение содержания гумуса с 6% до 4,5% за последние 20 лет.

Задания:

1. На основе принципов адаптивно-ландшафтного земледелия разработайте схему трансформации земель (заполните таблицу):

Тип почв / участок	Рекомендуемое использование	Севооборот (пример)	Почвозащитные мероприятия
Чернозёмы типичные (уклон 0–2°)	Интенсивная пашня	Зерно-паровой (пшеница–кукуруза–пар)	Полосное размещение, безотвальная обработка
Чернозёмы выщелоченные (уклон 2–5°)	Почвозащитная пашня (короткие севообороты с многолетними травами)	1. люцерна 2 г. 2. озимая пшеница 3. овёс	Обработка поперёк склона, буферные полосы
Солонцы	Кормовые угодья (сенокосы, пастбища) с фитомелиорацией	Посев донника, житняка	Гипсование, щелчевание
Эродированные участки (овражно-балочные)	Лесополосы, залужение	Посадка ивы, клёна, бобовых трав	Террасирование, водозадерживающие валы

2. Рассчитайте примерный баланс гумуса для типичного чернозёма при рекомендуемом севообороте, если внесение органики составляет 4 т/га навоза в год (содержание гумуса в навозе 20%). Вынос гумуса с урожаем пшеницы – 0,8 т/га, коэффициент гумификации навоза – 0,25.

Формула: **Баланс = (Органика × Гумиф) – (Вынос).**

Сделайте вывод (положительный или отрицательный баланс).

3. Предложите экономический стимул для фермера, чтобы он перешёл на рекомендуемую систему (например, субсидия за залужение эрозионно-опасных склонов, повышенная цена на органическую продукцию и т.д.).

Задание 2. Нормативно-правовой анализ: «Оценка допустимости проекта»

Представьте, что на землях хозяйства планируется строительство свинокомплекса с последующим внесением жидкого навоза на поля (400 т/га в год). Вам необходимо провести экспресс-оценку соблюдения природоохранных требований.

Дано (справочные данные):

- ПДК нитратов в почве – 130 мг/кг.
- ПДК кадмия (валовая форма) – 1,0 мг/кг (для чернозёма).
- Содержание азота в жидком навозе – 5 кг/т.
- Фоновое содержание нитратов – 15 мг/кг.
- Глубина пахотного слоя 0,2 м, плотность почвы 1,2 т/м³.
- Ежегодное поступление кадмия с навозом – 0,5 г/т навоза.

Задания:

1. Рассчитайте прирост нитратов в почве при внесении 400 т/га навоза (считая, что весь азот переходит в нитраты, масса почвы на 1 га в слое 0–20 см: $1 \text{ га} \times 0,2 \text{ м} \times 1,2 \text{ т/м}^3 = 2400 \text{ т}$). Выразите в мг/кг.
2. Сравните с ПДК (учитывая фон). Будет ли превышение?
3. Оцените накопление кадмия в почве за 10 лет (при ежегодном внесении). Превысит ли он ПДК?
4. На основе расчётов сделайте заключение – допустим ли проект с точки зрения охраны почв. Если нет, предложите способ снижения нагрузки (снижение дозы навоза, внесение под культуры-сидераты и др.).

Задание 3. Почвозащитное планирование на ландшафтной основе (картографическое)

Выдаётся фрагмент топографического плана с горизонталями и почвенными контурами (или описание в таблице).

Участок – склон длиной 1000 м, уклон 4°, экспозиция южная. Почва – чернозём выщелоченный, смытый. Преобладающее направление пахоты – вдоль склона (сверху вниз).

Задания:

1. Начертите схему (можно от руки) размещения следующих элементов почвозащитной организации территории:
 - Полевые севообороты (полосы многолетних трав и зерновых, идущие поперёк склона).
 - Лесополоса (вдоль склона? поперёк? Обоснуйте).
 - Водозадерживающий вал или канава на верхней трети склона.
 - Буферная полоса вдоль тальвега (нижняя часть).
2. Укажите на схеме направление стока талых и дождевых вод.
3. Рассчитайте допустимую длину поля (радиус) для продольной обработки на склоне 4°, если известно, что допустимая эрозия (смыв) не более 2 т/га/год, а по эмпирической формуле для чернозёма предельная длина поля (м) = 50 / уклон (в %). Уклон в градусах переведите в проценты ($1^\circ \approx 1,75\%$).

Сделайте вывод: нужно ли разбивать поле на полосы или менять направление обработки.

Задание 4. Экономико-экологическая оценка почвозащитных

мероприятий

Используя данные из задания 1, рассчитайте экономический эффект от перехода с существующей системы (монокультура, эрозия) на рекомендуемую.

Исходные данные:

- Текущая урожайность пшеницы – 25 ц/га, себестоимость – 400 руб/ц, цена реализации – 800 руб/ц.
- Из-за эрозии ежегодно теряется 15 т почвы с 1 га (в пересчёте на гумус и элементы питания), что снижает урожайность на 1 ц/га в год.
- Рекомендуемая система (севооборот с травами, обработка поперёк склона) увеличивает урожайность до 30 ц/га, но требует дополнительных затрат (многолетние травы, лесополосы) – 5000 руб/га в год.
- Площадь пашни, подлежащая реорганизации – 1000 га.

Задания:

1. Рассчитайте текущий годовой убыток от эрозии (потери урожайности × площадь × цена – себестоимость). Примите, что за 5 лет падения урожайность снизилась на 5 ц/га с исходных 30 ц/га до 25 ц/га, и это снижение стабилизировалось.
2. Рассчитайте дополнительную прибыль при внедрении рекомендуемой системы (сравнение с текущей урожайностью и затратами).
3. Оцените срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (создание лесополос, планировка полей), если они составляют 20 000 руб/га.
4. Сформулируйте аргументы для фермера (2–3 предложения) в пользу перехода на почвозащитную систему, используя расчёты.

Контрольные вопросы

1. Перечислите 5 научных принципов рационального использования почв. Раскройте один на примере.
2. Что такое адаптивно-ландшафтное земледелие и чем оно отличается от зонального?
3. Как рассчитывается баланс гумуса в пахотном слое? Какие значения считаются критическими?
4. Какие нормативные документы в РФ регулируют охрану почв от химического загрязнения? Назовите основные ПДК для одного тяжёлого металла.
5. В чём суть экономического механизма платы за негативное воздействие на почвы (приведите примеры, когда она взимается)?
6. Какие почвозащитные мероприятия наиболее эффективны на склонах крутизной 3–5°?
7. Объясните термин «презумпция экологической опасности»

применительно к землепользованию.

8. Какую роль играют полевые защитные лесополосы в сохранении экологических функций почв (минимум 3 функции)?

9. (Расчётная задача) На поле с уклоном 2° и длиной 400 м планируется продольная обработка. Допустимая эрозия – 2 т/га/год. Зная, что для данных условий эрозия пропорциональна $(\text{длина поля})^{1,5}$, и при длине 200 м эрозия = 1 т/га/год, определите, превысит ли эрозия допустимую. Какое решение принять?

10. Назовите международные соглашения и инициативы, направленные на рациональное использование почв (минимум 2).

Библиографический список

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 490 с.
2. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюлл. Почв, ин-та им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, 1972. Вып. V. С. 36-40.
3. Воробьева Л.А. Теория и методы химического анализа почв. М.: Изд-во МГУ, 1995. 134 с.
4. Воробьева Л.А., Орлов Д.С. Показатели химического состояния засоленных почв // В кн.: Освоение засоленных земель в условиях орошения. Новочеркасск, 1984. С. 23-33.
5. Воробьева В.А. Химический анализ почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
6. Задачник по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 77 с.
7. Мамонтов В.Г. Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв. Методическое пособие. М.: МСХА им. А.К. Тимирязева, 2002. 37 с.
8. Мамонтов В.Г. Методы почвенных исследований: учебник. Москва : Лань, 2016. 258с.
9. Мамонтов В.Г. Химический анализ почв и использование аналитических данных. Лабораторный практикум: учебное пособие. Санкт- Петербург: Лань, 2019. 328 с.
10. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 557 с.
11. Панкова Е.И., Воробьева Л.А. Диагностика и критерии оценки засоления почв // В кн.: Засоленные почвы России. М.: ИКЦ Академкнига, 2006. С. 6-50.
12. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: ВАСХНИЛ, 1990. 236 с.
13. Соколов Н.И. К методике анализа водных вытяжек // Тр. Почв, ин-та им. В.В. Докучаева. Т. X. Вып. 5. 1934. 36 с.
14. Теория и практика химического анализа почв // Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Множитель пересчёта грамм – ионов в миллиграмм - эквивалентах

Ионы	Вес иона	Эквивалентный вес	мг-экв, выраженный в		Пересчёт г-ионов (%) в мг - экв
			мг	г	
Катионы: Na ⁺	22,99	22,99	23	0,023	43,48
K ⁺	39,10	39,10	39	0,039	25,58
NH ₄ ⁺	18,04	18,04	18	0,018	55,43
Ca ⁺²	40,08	20,04	20	0,020	40,90
Mg ⁺²	24,32	12,16	12	0,012	82,84
Ba ⁺²	137,36	68,68	69	0,069	14,56
Sr ⁺²	87,63	43,82	44	0,044	22,82
Cu ⁺²	63,54	31,77	32	0,032	31,46
Zn ⁺²	65,38	32,69	33	0,033	30,59
Ni ⁺²	58,71	29,36	29	0,029	34,08
Co ⁺²	58,94	29,47	29	0,029	33,93
Mn ⁺²	54,94	27,47	27	0,027	36,41
Fe ⁺²	55,85	27,92	28	0,028	35,82
Fe ⁺³	55,85	18,62	19	0,019	53,27
Al ⁺³	26,98	9,00	9	0,009	111,24
Анионы: Cl ⁻	35,45	35,45	35	0,035	28,20
NO ₃ ⁻	62,00	62,00	62	0,062	16,13
HCO ₃ ⁻	61,00	61,00	61	0,061	16,39
CO ₃ ⁻²	60,00	30,00	30	0,030	33,33
SO ₄ ⁻²	96,06	48,03	48	0,048	20,82
HPO ₄ ⁻²	96,03	48,02	48	0,048	20,83