

**И.М. Яшин, И.И. Васенев, В.А. Поветкин,  
Р.А. Атенбеков**

# **ПРАКТИКУМ ПО МЕТОДАМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**



**Издательство РГАУ-МСХА  
Москва 2016**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А.  
ТИМИРЯЗЕВА

---

**Факультет почвоведения, агрохимии и экологии**  
**кафедра экологии**

**И.М. Яшин, И.И. Васенев, В.А. Поветкин,  
Р.А. Атенбеков**

**ПРАКТИКУМ ПО  
МЕТОДАМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Под редакцией д.бн, профессора И.М. Яшина**

**Издательство РГАУ-МСХА  
Москва 2016**

УДК: 504.54: 631.42  
ББК (40.35:85+65.281) в635  
Я 968

**Яшин И.М., Васенев И.И., Поветкин В.А., Атенбеков Р.А.** Практикум по методам экологических исследований. Учебное пособие / И.М. Яшин, И.И. Васенев, В.А. Поветкин, Р.А. Атенбеков. Под ред. И.М. Яшина. М.: Изд-во РГАУ-МСХА. 2016. - 64 с.

В практикуме изложен учебный материал для лабораторно-практических (и самостоятельных) занятий по курсу «Методы экологических исследований» в соответствии с Рабочей программой курса 3-го поколения.

Учебное пособие предназначено для бакалавров факультета почвоведения, агрохимии и экологии, обучающихся по направлениям: 022000.62 «Экология и природопользование» и 110100.62 «Агрохимия и агропочвоведение» очной формы обучения.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией факультета почвоведения, агрохимии и экологии (протокол № 02 от 23.03.2015 г.).

**На обложке: фото слева** - студенты кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева исследуют почвы, водную миграцию веществ в таежном лесопарке Петрозаводска под руководством профессора И.М. Яшин (грант РФФИ). На стационаре диагностированы три основные фации: **ельника-черничника, ельника сложного и ельника-мертвопокровного**. В 1-й фации отмечены крупные муравейники. Часто они примыкают к деревьям ели, по стволам которых периодически стекает смола. Не исключено, что выделяемая муравьями органическая кислота вызывает кислотный гидролиз сложных органических структур смолы ели. Образующиеся новые органические соединения (например, терпеноиды и иные), *стимулируют их жизнедеятельность*. Однако в 2013 году (через 10 лет) самый крупный муравейник (что на фото) вдруг **опустел**, в нем не было муравьев. Хвоя ели сохранилась только в верхнем 1,5-2 см слое, образовав жесткую еловую «корку» из уплотненного бурого елового опада, остальная масса муравейника – белая труха. Можно допустить, что использованные в пищу *органические продукты кислотного гидролиза смолы ели* оказались для муравьев токсичными или, напротив, имели наркотический характер: это и погубило всю популяцию муравьев. *Так или иначе, но эта интересная экологическая задача требует своего осмысления и изучения с помощью комплекса методов экологических исследований.*

**Фото справа** – сосновый бор и его песчаные почвы – один из стационаров Биологической станции Воронежского университета. С 2016 г. эти объекты исследуются сотрудниками кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В профиле почвы четко выражены лесная подстилка, белесый (подзолистый), охристый (иллювиально-железистый) и *слабо развитый (белесовато-серый) дерновый горизонт*; почвообразующие породы - тонкозернистые пески древнего аллювия. Генетическая *диагностика почв боровых террас* лесостепи требует уточнения с помощью стационарных методов исследования. Рядом с бором находится обширная гарь – следствие масштабного пожара в период засухи 2010 года на надпойменной террасе реки. Лесовосстановление здесь заторможено, а *пирогенные почвоподобные образования* функционируют в условиях разреженной травянистой растительности. В плотной и жесткой дернине много мелких и крупных угольков, а корней очень мало. Фото И.М. Яшина.

- © Яшин И.М., Васенев И.И., Поветкин В.А., Атенбеков Р.А., 2016
- © ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016
- © Издательство РГАУ-МСХА, 2016

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	5
<b>Часть 1. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. Полевые методы экологических исследований</b> .....	6
<b>ТЕМА 1. Ландшафтное дешифрирование топографической карты, анализ типов и форм рельефа</b> .....	6
<b>ТЕМА 2. Составление фрагмента ландшафтно-экологической карты М 1:10 000 или М 1: 25 000</b> .....	15
<b>ТЕМА 3. Построение ландшафтно-экологического профиля</b> .....	20
<b>ТЕМА 4. Эколого-геохимическая характеристика основных типов ландшафтов</b> .....	25
<b>Часть 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ. Физико-химические (инструментальные) методы, используемые для оценки экологического состояния аграрных и иных ландшафтов</b> .....	29
<b>Лабораторная работа № 1. Природные и искусственные сорбенты - основа качества жизни и экологической безопасности</b> .....	31
<b>Лабораторная работа № 2. Изучение влияния «кислотных дождей» на экологическое состояние и функции почв таежных (и иных) экосистем</b> .....	43
<b>Лабораторная работа № 3. Оценка экологических функций мобильных гумусовых соединений в экосистемах тайги</b> .....	46
<b>Тема 3.1, тема 3.2, тема 3.3. Определение <math>k_{mob}</math> и другие работы</b> .....	49
<b>Тема 3.4. Определение состава органоминеральных соединений</b> .....	49
<b>Тема 3.5. Характеристика и оценка биогенной кислотности</b> .....	51
<b>Тема 3.6. Применение МСЛ в экологических исследованиях</b> .....	55
<b>Экзаменационные вопросы</b> .....	59
<b>Библиографический список</b> .....	63

## Введение

Учебное пособие для лабораторно-практических работ по курсу «Методы экологических исследований» (МЭИ) подготовлено профессорами кафедры экологии РГАУ-МСХА И.М. Яшиным и И.И. Васневым, доцентом В.А. Поветкиным и соискателем кафедры экологии Р.А. Атенбековым в качестве дополнения к учебному пособию и курсу лекций по МЭИ.

Содержание практикума включает две части: первая охватывает *полевые методы экологических исследований*, которые выполняются студентами самостоятельно на аудиторных практических занятиях. Во второй части изучаются физико-химические методы. Они позволяют в серии простых *лабораторных (химико-аналитических) работ оценить экологическое состояние некоторых нативных и аграрных ландшафтов*.

*Темы заданий* объединяют информацию по основным разделам курса МЭИ, которая закрепляется на учебно-производственной (полевой) практике по сельскохозяйственной экологии в учхозах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: «Дружба» Ярославской области и «Муммовское» Саратовской области (согласно учебного плана практик). *Студенты на первом занятии получают рабочие тетради у педагога и самостоятельно приступают к изучению конкретной темы курса МЭИ*.

Усвоение учебного материала в 1-й части курса позволит студентам овладеть методами ландшафтных исследований, навыками чтения топографических карт. Студенты научатся выделять на картографической основе – в камеральной и полевой обстановке – фации и урочища, объяснять ландшафтообразующие процессы, составлять макет ландшафтной карты и ландшафтно-экологического профиля, а также правильно описывать в специальном полевом дневнике растительность, почвы, рельеф, почвообразующие породы и водные источники.

Каждый студент получает от преподавателя индивидуальное задание по оценке экологической ситуации одного из районов Московской области. По данной теме защищается подготовленный материал в форме краткого реферата. В него входят *фрагмент экологической карты, экологическая catena применительно к ландшафту административного района Подмосковья и текст*. Используется балльная оценка знаний.

Студенты, не набравшие минимума баллов (в зависимости от числа выполненных ими работ и правильных ответов на вопросы), *не допускаются к итоговому экзамену*.

Во 2-й части практикума представлены задания по выполнению лабораторных работ с использованием инструментальных методов физико-химического анализа, а также экологические задачи. Большое внимание уделяется диагностике в почвах, природных водах и кормах, в частности, *ионов тяжелых металлов и иных экотоксикантов*. Полученные сведения помогут студентам более эффективно решать задачи по экологическому нормированию, оценке качества агроэкосистем, трансформации и водной миграции веществ. Студенты приобретут не только навыки работы на приборах, но и более полно и точно оценивать экологическую ситуацию в реальных агроэкосистемах.

Задания в практикуме методически построены следующим образом: сначала излагается исходный материал задания, затем указывается порядок выполнения работы и вопросы для самоконтроля. Тема завершается выводами и оценкой экоситуации.

Практическая и лабораторная работы могут включать специальные расчетные *экологические задачи, тесты*, а также специальные вопросы и задания преподавателя. Последние могут выдаваться студентам в качестве дополнения к практикуму по курсу МЭИ, например, раздел «Экологическая оценка природных ресурсов региона».

## Часть 1. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### Полевые методы экологических исследований

#### ТЕМА 1. Ландшафтное дешифрирование топографической карты, анализ типов и форм рельефа<sup>1</sup>

**Цель:** научить студентов приемам ландшафтного дешифрирования информации, содержащейся на топографических картах.

**Исходный материал для темы №1:** фрагменты топографической карты, аэрофотоснимки и фотопланы с горизонталями масштаба М 1: 10 000 и М 1: 25 000. Стереоскопы. Планиметры, палетки...

**Литература:**

1. Яшин И.М. с соавт. «Лабораторный практикум: ландшафтоведение». М.: РГАУ-МСХА. 2004. - 70 с.
2. Яшин И.М. и др. Методы экологических исследований. М.: РГАУ-МСХА. 2015. - 183 с.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое ландшафтное дешифрирование аэрофотоснимков?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Какие приборы применяют при дешифрировании аэрофотоснимков и фотопланов?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3. В какой последовательности проводится дешифрирование аэрофотоснимков?

---

<sup>1</sup> Работа выполняется при наличии стереоскопов и набора аэрофотоснимков (фотопланов с горизонталями).

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Какие компоненты ландшафта дешифрируются с трудом и неточно?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Что такое контурное ландшафтное дешифрирование?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. С какой целью используются стереоскопические приборы?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

7. Назовите особенности дешифрирования почв и почвенного покрова.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

8. Укажите особенности дешифрирования растительного покрова и рельефа в ландшафтах.

9. По результатам дешифрирования составляется макет экологической карты. Нарисуйте внемасштабную схему фрагмента такой карты размером 7х7 см.

Нарисовать схему фрагмента крупномасштабной экологической карты с указанием урочищ и легенды к ней:

### Порядок выполнения задания

1. Наложить кальку (10×10 см) на топографическую основу (или аэрофотоснимок). Вычертить рамку карты. Перенести на кальку точки наблюдений (и будущего описания компонентов ландшафтов по заданию преподавателя). Например, ландшафты тундры, тайги, лесостепной, степной и иных зон земного шара. При реальном экологическом картировании на рамку стационарного участка наносятся *координаты местности* и *абсолютные отметки высот*, установленные в поле по GPS или ГЛОНАСС навигаторам.

2. Используя дешифровочные признаки (прямые и косвенные) аэрофотоснимка и топоосновы, вычертить на подготовленной кальке **формы и элементы** мезорельефа конкретной природной зоны. Например, для зоны тайги – это формы моренного эрозионного и флювиального рельефа. После чего выделяют и переносят на кальку **плакоры**, а за ними – **склоновые элементы**. При этом обращают внимание на экспозицию (С, Ю, З, В...), протяженность, характер и крутизну склонов. Последний параметр определяют или с использованием шкалы заложений, или **расчетным способом** (найдя соотношение величин заложения на карте (h) и высоты

сечения рельефа (d) на местности:  $\text{tg } \alpha = h/d$  в одних и тех же единицах измерения).

3. Провести *типологический анализ выделенных форм и элементов рельефа*. Составить легенду к геоморфологической карте (или ее фрагменту). **В легенде** элементы моренного (или иных типов) рельефа должны быть систематизированы по типам и уровням поверхностей, начиная с наиболее высокого (плакоры) и заканчивая эрозионными (а также включая оценку местных базисов эрозии, *вертикальную и горизонтальную степень расчлененности рельефа*).

4. Выделить и охарактеризовать *водосборы*: оценить их генетические особенности, функционирование и роль в развитии миграции веществ (поверхностной и внутрпочвенной).

5. Раскрасить и оцифровать выделы элементов и форм рельефа согласно *легенде к ландшафтной карте*.

6. Провести зарамочное оформление фрагмента ландшафтной карты. Ввиду дефицита учебного времени предусматривается частичное выполнение работы в форме домашнего задания.

**Зачетный материал по теме.** На кальке-накладке в цветовом изображении (плакоры – желтым, типы склонов – оттенками коричневого, долины рек и их элементы – террасы, поймы... – оттенками зеленого цвета) отражаются элементы плакоров, склонов и флювиальные формы рельефа. В зарамочное оформление карты входят: название карты, указание масштаба, легенда типов, форм и элементов мезо- и микрорельефа (они важны для последующей идентификации урочищ и фаций), а также фамилия и инициалы исполнителя и дата сдачи задания. Карта оформляется аккуратно. Возможно использование соответствующих компьютерных программ.

### **Обоснование задания** (и справочный материал)

Студенты должны научиться распознавать (дешифрировать) на топографической карте (аэрофотоснимках, фотопланах с горизонталями...) генетические *типы рельефа, а также их формы и элементы*. Ниже будет изложен справочный и методический материал по теме 1.

*Студентам целесообразно дать письменную самостоятельную работу (аудиторную или домашнюю).*

Известно, что формы макро- и мезорельефа – природные барьеры и дифференциаторы на поверхности Земли влаги, солнечной радиации (света), тепла и эрозионного материала. К элементам *долинного флювиального рельефа* относятся террасы и поймы постоянных и временных водотоков: суходолов, балок, оврагов, днища вáди, которые являются местными базисами эрозии (они имеют наименьшие абсолютные отметки местности и сюда попадает эрозионный сток).

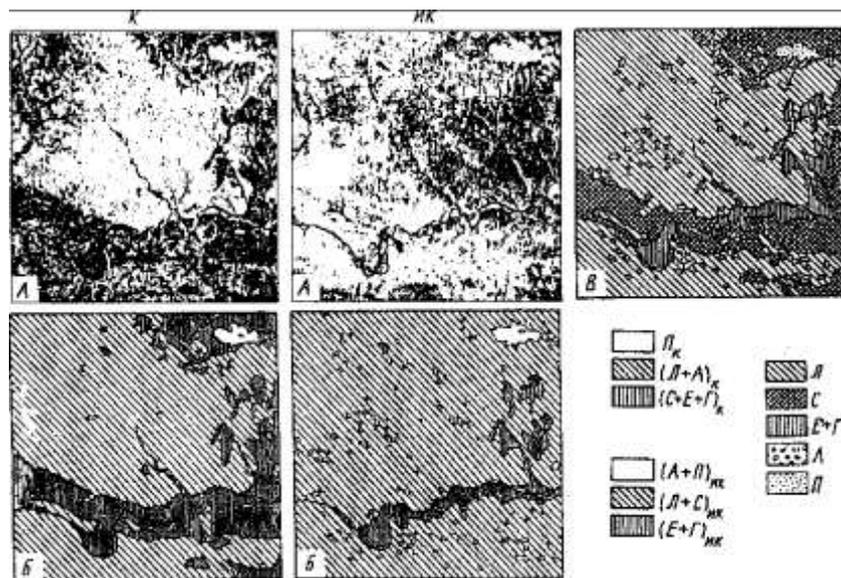


Рис. 1 Принцип сопоставительного дешифрирования многозональных снимков (В.Л. Андроников, 1979): *А* – зональные снимки (*К* – красная зона, *ИК* – ближняя инфракрасная зона), *Б* – схемы дешифрирования зональных снимков, *В* – результат сопоставления зональных снимков. *Л* – лиственные леса, *С* – сосновые леса, *Е+Г* – еловые леса и гари, *А* – аласы, *П* – пески.

Рассмотрим методологию дешифрирования аэрофотоснимков и фотопланов. Дешифрирование проводится по определенной системе: во-первых, выявляются и оконтуриваются на снимках территории с однотипным рельефом, растительностью и почвами. Этот этап работы можно определить как *контурное ландшафтное дешифрирование*. Во-вторых, устанавливается содержание выявленных на снимках компонентов почв, пород и т.д. – этап генетического дешифрирования.

Целевое дешифрирование почв и компонентов сельскохозяйственных ландшафтов можно заметно улучшить, если иметь сведения об их *отражательной способности в определенной зоне спектра* и вести съемку в тех узких диапазонах, где спектральные различия почв и растительности (культурной или естественной) максимальны.

### Дешифрирование типов и форм рельефа, гидрографии, растительности, почв

При камеральном дешифрировании, в частности, аэрофотоматериалов используют *стереоскопические приборы и стереопарные снимки*. Они позволяют получить стереоскопическое (объемное) изображение рельефа. Знание взаимосвязей между почвами, типами и формами рельефа позволяет использовать объемное изображение рельефа в качестве четкого *косвенного дешифровочного признака* пространственного залегания и эволюции почв.

На аэрофотоснимках при их стереоскопировании легко выделяются западины, ложбины, промоины, овраги, балки, холмы, гряды, увалы, террасы,

приводораздельные и прибалочные склоны и другие элементы мезо- и микрорельефа. По типам и формам рельефа – в камеральных и полевых условиях – четко диагностируются типы почв и экзогенные процессы.

**Овраги** изображаются на снимках узкой, четко очерченной зазубренной формой. Из-за разрушения покрова, смыва гумуса и обнажения почвообразующих пород они изображаются ярко-светлым тоном.

**Балки** имеют вытянутую древовидную форму. Днища и склоны балок покрыты растительностью. К приовражным и прибалочным склонам, террасам, склонам холмов, увалов и гряд (различной формы, крутизны и протяженности) приурочены участки плоскостного смыва (эродированные почвы).

По *характеру рельефа* на снимках можно различать песчаные и глинистые (почвообразующие) породы. Песчаные склоны балок, коренных берегов рек, ветроударные перегибы склонов и их бровки имеют на снимках полого-округлую форму светло-серого или почти белого тона. Обрывы, оплывающие с оползнями склоны, характерны для глинистых пород.

Почвенный покров под культурной растительностью и кустарниками в камеральный период дешифрируется плохо. Он должен устанавливаться только при полевых изысканиях.

К *недостаткам контактных аэрофотоснимков* относится их разномасштабность как в пределах одного снимка (разномасштабность в центре и на периферии снимка из-за неперпендикулярности оптической оси АФА\*): поэтому приходится выделять рабочую – центральную – площадь снимка), так и соседних, особенно для смежных маршрутов (изменение высоты полета). Масштаб снимков *часто не соответствует масштабу* подготавливаемой ландшафтной и иных карт. Аэрофотоснимки не имеют отметок абсолютных высот, на них не указаны названия населенных пунктов, рек, озер, дорог и иная инфраструктура. Вследствие сказанного богатую информацию о ландшафтах и высокое качество аэрофотоснимков приходится дополнять фотопланами с горизонталями и топографической основой, а также планом землепользования. Пакет аэрофотоснимков на изучаемую территорию сопровождают *накидным фотомонтажем* (фотосхемой) или его репродукцией.

При их отсутствии репродукцию обязательно изготавливают из аэрофотоснимков, обрезанных по полезной (рабочей) площади, совмещенных по границам обреза (и объекта исследований), и наклеенных на плотную бумагу. Монтаж охватывает весь район изысканий, позволяет оперативно подбирать снимки и мобильно работать уже в полевой обстановке при изучении элементарных структур географического ландшафта – фаций и урочищ.

---

\* АФА – аэрофотоаппаратура. При дистанционном зондировании земной поверхности в нашей стране широко использовалась высокоточная аппаратура фирмы Карл Цейс Йена (Германия).

## Дешифрирование почв и почвенного покрова

Для почвенных контуров нехарактерна та ярко выраженная определенность, как, например, для рельефа, гидрографии и растительности. Вместе с тем, в ряде случаев, размер и форма контуров почв вполне очевидны (переувлажненные пойменные и болотные почвы).

Размер почвенных контуров зависит от масштаба съемки. Установлено, что предельные возможности каждого масштаба определяются разрешающей способностью пленки, спецификой объектива АФА, типа фотобумаги и особенностями человеческого глаза. Минимальные размеры изображения при М 1: 10 000 – 1 м, М 1: 25 000 – 2,5 м, при условии, что разрешающая способность снимков в среднем составляет 10-12 лин/мм. Человеческий глаз имеет разрешающую способность 5 лин/мм, поэтому можно пользоваться фотоснимками, увеличенными в 2-4 и более раз – 8-10.

Форма природных почвенных контуров воспринимается легче и дешифрируется уверенней с увеличением длины периметра контура и повышением контраста между контуром и фоном. На аэрофотоснимках видны размеры контуров слабо эродированных и особенно средне- и сильноэродированных почв. Форма контуров почв вытянута вдоль оврагов и склонов. Часто различима пятнистость и струйчатость при разной тональности рисунка.

### Дешифровочные признаки почв

При дешифрировании почв по аэро- и космическим снимкам используют комплекс прямых и косвенных признаков. К прямым дешифровочным признакам относятся: тон, цвет, рисунок (текстура изображения), размер и форма почвенных контуров. К косвенным – типы и формы рельефа, особенности речных долин и водосборов, характер литологии и растительности, своеобразие антропогенной деятельности. Рассмотрим эти признаки.

Тон фотоизображения. Дешифрирование почв может быть заметно затруднено, если тон его изображения сольется с общим фоном ландшафтов. Тональность снимков характеризуют величиной контрастности:

$$K_{\gamma} = \frac{B_1 - B}{B}, \text{ где } B_1 - \text{ яркость объекта; } B - \text{ яркость фона, окружающего}$$

объект. Порог яркостного контраста для глаза человека ~ 2%. Плотность аэрофотоснимков можно измерить с помощью микрофотометров типа МФ-4, ИФО-451 и других приборов. Визуально используют так называемую **серую шкалу тонов**: 1) белый (плотность 0,1 и менее), 2) почти белый (пл. 0,2-0,3), 3) светло-серый (пл. 0,4-0,6), 4) серый (пл. 0,7-1,1), 5) темно-серый (пл. 1,2-1,6), 6) почти черный (пл. 1,7-2,1) и 7) черный (пл. 2,2 и более). С помощью анализатора изображений «Квантиметр-720» можно различать 64 уровня серого тона на снимке.

Контуры пашни имеют *разную тональность* в зависимости от характера возделываемых культур, их возраста и степени гумусированности почв. Обычно многолетние травы, овощи, силосные и пропашные культуры имеют более темную тональность в сравнении с зерновыми. *При созревании культур тон их контуров осветляется.*

### **Цвет фотоизображения почвенного покрова**

В связи с развитием цветной и особенно спектральной съемки ландшафтов важным и прямым дешифровочным признаком становится цвет фотоизображения почв, естественной растительности (и посевов с.-х. культур), выходов горных пород... Наиболее широкими возможностями в отношении выделения различных почвенных разностей обладают спектральные цветные снимки. Фотографируя ландшафт в той области спектра, где различия в отражательной способности различных почв максимальны, можно существенно повысить эффективность подготовки почвенных карт.

**Растительность и почвы** обладают неодинаковой отражательной способностью. У почв наибольшие различия наблюдаются в зоне спектра с  $\lambda \sim 700$  нм, а у растительности в двух зонах: 1) 520-600 нм и 2)  $\sim 700$  нм. Фотографирование почв в этих зонах спектра повышает степень их дешифрируемости.

Фотографические съемки ландшафтов обычно выполняются на цветной негативной пленке ЦН-3 (видимая зона), спектральной пленке СН-2М, СН-6 (инфракрасная и красная зоны) – более чувствительная, СН-5 (инфракрасная и зеленая зоны), СН-4 (зеленая и красная зоны), СН-23 (зеленая, красная и инфракрасная зоны спектра).

### **Текстура (рисунок фотоизображения) и ее классификация**

При ландшафтном дешифрировании аэрофотоснимков этот признак является наиболее устойчивым и надежным. Он включает в себя различное сочетание размеров, формы, тональности или цвета фотоизображения почв на снимках. В сравнении с топографическими и землеустроительными планами *аэрофотоснимки* дают наиболее полное представление о пространственном размещении почвенного покрова. При этом появляется возможность изучить специфику неоднородности почв в ландшафтах: геометрию структур почвенного покрова, их компонентный состав, сложность, контрастность, особенности границ элементарных почвенных ареалов.

*Стереоскопическое рассмотрение снимков* проводят путем наложения двух смежных (четных - нечетных) аэрофотоснимков друг на друга так, чтобы их перекрывающиеся части совпали. Затем, указательными пальцами обеих рук находят на снимках характерную точку и от центра в стороны на 6 см разводят снимки, добиваясь стереоэффекта (т.е. объемного изображения)

объекта). При этом зона перекрытия должна быть обращена вовнутрь, иначе получится обратный стереоэффект. Границы рабочих площадей отбиваются попарно – через снимок. Например, берут №№ 503 и 505 (или четные 502 и 504). Снимки с «отбитыми» и закрепленными рабочими площадями (полностью перекрываемыми) раскладывают по полевым маршрутам, заворачивают в бумагу и подписывают (№ маршрута, количество снимков, их №№, указывается, к каким фотопланам и ориентирам приурочены).

Прикладное значение данной работы состоит в том, что студенты, овладев навыками дешифрирования аэрофотоснимков, фотопланов с горизонталями, составления фрагмента экологической карты, смогут самостоятельно и качественно выполнять задания как на полевой учебной практике, так и при почвенно-экологических картографических изысканиях в ландшафтах РФ.

При этом *камеральные работы по ландшафтному дешифрированию картографических материалов* (в полевых условиях - на базе - прежде чем выйти в маршруты) позволяют студентам и специалистам выполнять полевые изыскания с меньшими материальными затратами и более точно. Особенно актуальны подобные *исследования ландшафтной ситуации карт* для труднодоступных и труднопроходимых территорий: плавней, дельтовых участков крупных рек, пойм, гарей, солончаков и приливно-отливных участков приморских низменностей, лесных массивов (испытывших крупные пожары, ветровалы и несанкционированные рубки), болотных массивов, имеющих, как правило, кольцевые структуры разных подтипов болот, топи, сплавины и опасные для полевику участки.

*Вообще, болота изучаются и картируются почвоведомы в поле несколько иначе* в сравнении с автоморфными и полугидроморфными почвами. Наряду с лопатой у полевика должна быть 3-х метровая прочная *слега (черенок)* с 5-6 небольшими зарубками не только в самом низу, но и по всей длине. На болотах разрез выкапывается лишь на окрайках, в подтипах низинных болот. Переходные и верховые торфа исследуются с помощью следи. Торф, оставшийся в зарубках на слегах при протыкании торфяной залежи, выкладывают колонкой на поверхности торфяника и характеризуют его особенности. На болотах нужно быть очень внимательными, в маршрут отправляться только группой 3-4 человека, иметь кроме следи и крепкую 10 м веревку.

*Уместно напомнить, что болота являются излюбленным местом жировки хищников, гнездовья птиц и обитания змей.* Поэтому нельзя располагаться на отдых и вешать мокрую одежду на поваленные колоды и деревья, садиться на пни и почву, ходить босиком. *При картировании болот в августе нелишне помнить, что это сезон охоты и может представлять опасность для полевику.*

## ТЕМА 2

### Составление фрагмента ландшафтно-экологической карты М 1:10 000 или М 1: 25 000

*Исходный материал для задания* тот же, что и в предыдущем, а также составленный фрагмент геоморфологической карты.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какая информация содержится в ландшафтной карте и как она используется?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Что такое экологическая карта? С какой целью она составляется?

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Что такое экологическое картирование? Назовите его *основные этапы*.

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Как выделить на топографической карте *границы фаций и урочищ*?

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Что такое *заложение и высота сечения* рельефа?

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Для каких целей и как используется шкала заложений?

---

---

---

---

---

---

7. Напишите условные обозначения: пашни, сенокоса, леса, пастбища, гари, кустарника, болота; значки эрозии почв.

---

---

---

---

---

---

8. Назовите основные параметры оценки склонов увалов и холмов.

---

---

---

---

---

---

9. По какому принципу *составляется легенда* к ландшафтной и экологической картам?

---

---

---

---

---

---

### **Порядок выполнения задания по теме 2**

1. На составленной ранее геоморфологической карте (калька-накладка с фрагмента топоосновы или аэроснимка) *выделить границы урочищ и фаций* – исходя из форм и элементов рельефа, растительности... – и кратко охарактеризовать их особенности.

2. Учитывая элементы мезо- и микрорельефа, частоту горизонталей, уклон (и протяженность склонов, их состояние и характер производственного использования), почвенно-растительный покров, водосборы и базисы эрозии (см. рабочую легенду), дешифровочные признаки, *провести границы* между фациями и урочищами.

Прежде всего, *следует провести границы фаций местных базисов эрозии*: речной и овражно-балочной сети. Напомним, линию контура в

пределах пойменных тыловых швов нельзя постоянно вести по одной горизонтали. Целесообразно следовать как бы за уровнем полых и меженных вод. Границы днищ эрозионных форм рельефа проводятся по касательной к окружности, мысленно вписываемой в изгиб горизонталей днища.

Привершинные водосборные понижения с выположенными склонами при выделении фаций не должны объединяться с ними в один контур, поскольку в них отсутствует деятельность строго направленного водотока.

Затем приступают к анализу и обозначению на новой кальке фаций с четко выраженным элювиальным процессом – *плакоров*.

На следующем этапе составления фрагмента ландшафтной карты выделяют фации склоновых площадок, используя для этого сведения по ландшафтному профилированию (точнее, данные о вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа).

Сходные по генезису группы фаций (в пределах однотипного мезорельефа) объединяют в урочища. Границы урочищ оконтуриваются красным цветом, а фаций – синим.

3. Составляют легенду к ландшафтной карте. В легенде под конкретным номером фации даются генетические характеристики компонентов ландшафтов – почвы, растительной ассоциации, почвообразующих пород... Антропогенные модификации фаций указывают на карте черной штриховкой.

4. Раскрашивают и нумеруют контуры фаций и урочищ.

5. Проводят зарамочное оформление карты (см. задание темы 1, а также **учебное пособие** «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах», с. 43).

Зачетный материал – фрагмент учебной ландшафтной карты с выделенными фациями и урочищами (подурочищами), выполненный в цветном изображении в виде кальки – накладки на топокарту. Порядковая нумерация контуров фаций и урочищ приводится, исходя из **составленной легенды** к ландшафтной карте.

В рабочей тетради (при выполнении темы 2) могут быть (по заданию педагога) представлены описания компонентов ландшафтов по схеме, реализуемой на учебной полевой практике по сельскохозяйственной экологии. Рассмотрим эту информацию.

Чтобы получить необходимые сведения о природных ландшафтах и ландшафтообразующих процессах в полевой обстановке любого региона проводят рекогносцировку, а затем и собственно *ландшафтное картографирование* в М 1:10000 или М 1: 25000 (крупномасштабная съемка). Рекогносцировка часто проводится путем облета (или объезда) всей изучаемой территории с редкими остановками и изучением ландшафтов. Цели рекогносцировки и сплошного картирования разные, хотя эти натурные изыскания включают одинаковые виды работ: маршрутные наблюдения, опорное ландшафтное профилирование, съемку ключевых (и эталонных – ненарушенных) участков. Все виды работ реализуются на так называемых

точках: опорных, основных, картировочных и специальных. Опорные точки закладываются на опорном ландшафтном профиле.

**Основные точки** закладываются при маршрутных исследованиях в наиболее типичных фациях (преобладающих в ландшафте по площади). Полученные сведения можно экстраполировать на аналогичные фации. Это позволяет экономить материальные ресурсы. Подобный подход особенно эффективен при наличии макета ландшафтной карты и камерального дешифрирования аэрофотоснимков. В полевой обстановке один вид фации характеризуется одной основной точкой наблюдения. Здесь подробно дают морфологическое описание полнопрофильного почвенного разреза, выделяют 3-5 геоботанических площадок и детально описывают растительный покров (методы оценки фитоценозов изложены, например, в учебном пособии: Яшин И.М. с соавт., 2000. С. 198).

**Картировочные точки** используются для уточнения ландшафтной ситуации, для краткой оценки фаций-аналогов, обстоятельно охарактеризованных на основных и опорных точках.

**Специализированные точки** закладывают для углубленной оценки одного из компонентов ландшафтов: почв, растительности, пород, гидрографии (характер водосборов, экзогенные процессы...), или оценки почвенно-экологических процессов.

**Работа на точках наблюдения** начинается с их географической и топографической привязки, которая записывается в полевом дневнике. Местоположение точки отмечается на топографической карте и аэрофотоснимке и нумеруется. Привязка точки осуществляется по двум постоянным ориентирам, на которые можно взять азимут. Это положение весьма актуально при средне- и мелкомасштабной съемке. В последнем случае для точки наблюдения уточняют географические координаты местности.

**Оценка растительного покрова.** Обычно она предшествует изучению почв и закладке шурфов на опорных и основных точках. Работа в лесу начинается с выбора нескольких (произвольно устанавливаемых) геоботанических площадок, исходя из цели изысканий и масштаба съемки (площадью 100-400 м<sup>2</sup>). Площадка должна располагаться в пределах одной растительной ассоциации (биогеоценоза). Схема описания растительности хорошо отработана и изложена в методических руководствах по геоботанике. Характеристика лесной растительности включает оценку типа леса (лиственные, смешанные, хвойные... с уточнением природной зоны – умеренная, холодная, субтропическая..., где она расположена: на равнине, в горах), ярусности деревьев и кустарников, наличие подроста, высоты деревьев (по ярусам), густоту древостоя, сомкнутость крон, диаметра стволов на высоте 1-1,2 м; уточняются внешние изменения вегетативных органов растений и коры... Каждое название растений дается по-русски и по-латыни. Обычно отмечают род и вид: ива белая – *Salix alba*; береза бородавчатая – *Betula pendula*. Подробно изучаются лесные подстилки, опад, наличие

мохового и лишайникового покрова, приствольные повышения, состояние древостоя и иные параметры.

**Наземный растительный покров** в естественных фитоценозах исследуется с учетом типа ассоциации: **степь** (разнотравно-злаковая, дерновинно-злаковая и другие); **луг** (заболоченный, настоящий – типичный, остепненный) и **болото** (травяное, верховое, низинное, переходное). Указываются следующие показатели: проективное покрытие (визуально и в процентах) доминанты; обилие по шкале О. Друде.

При экологическом картографировании почв и оценке состояния ландшафтов изучают морфологические признаки почв (их залегание в катенах, экологических профилях и переходных зонах – экотонах), отбирают почвенные образцы для анализов, изучают водно-физические свойства почв. Морфогенетические свойства почв исследуют по почвенным траншеям длиной 10-15 м, **основным** разрезам, **полуямам и прикопкам**. Нередко для этого используют зачистки на склонах оврагов и балок, обрывах речных и озерных террас, на стенках оросительных канав, траншей и карьеров. В последнем случае следует строго соблюдать технику безопасности работы на обрыве. Глубина основных (ключевых) разрезов в зоне тайги составляет 125-200 см и лимитируется часто близким залеганием грунтовых вод и плотных пород (нередко валунами моренных отложений).

*Перечислите, напишите и раскрасьте основные генетические горизонты почв и дайте их индексировку:*

1. Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на бескарбонатной сильнокаменистой морене.

Пример - П<sup>д</sup> лс М.

2. Дерново-глеевая тяжелосуглинистая на покровных суглинках,

3. Пойменная дерновая слоистая на аллювии,

## ТЕМА 3

### Построение ландшафтно-экологического профиля

**Цель задания:** выработать навыки построения опорного ландшафтно-экологического профиля и ознакомиться с полевыми методами экологических исследований.

**Необходимый материал для задания:** составленный фрагмент учебной ландшафтной карты М 1:10 000, 1:25 000, или топографическая карта; миллиметровка, карандаши... Учебное пособие «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах» (Яшин И.М. и др., М., 2000).

### Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью вычерчивается *ландшафтно-экологический профиль*?

---

---

---

---

---

2. Охарактеризуйте этапы построения схемы ландшафтно-экологического профиля.

---

---

---

---

---

---

---

3. Какие компоненты ландшафта входят в геоморфологический профиль?

---

---

---

---

4. Назовите составляющие ландшафтного профиля.

---

---

---

---

---

---

5. Какую новую информацию *содержит экологический профиль?*

---

---

---

---

---

---

---

6. *В каком масштабе* проводится построение экологического профиля?

---

---

---

---

---

---

---

7. Что такое «вертикальный» и «горизонтальный» масштабы?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Порядок выполнения работы**

Используя гипсометрический и геоморфологический профили, точки наблюдения (основные, картировочные), составить ландшафтный, а затем и экологический профили в выбранном масштабе высот и протяженности на миллиметровке (или кальке) с выделением границ фаций и загрязненных некоторыми ТМ участков (рис. 2).

1. Вычертить комплексный ландшафтный профиль с диагностикой почв (и почвенного покрова), растительности, почвообразующих и подстилающих пород, рельефа... Растительность и почвы характеризуют с оценкой их антропогенной нарушенности, состояния и эволюции.

2. На топографической основе (исходной картоснове для составления ландшафтной карты и профиля) показать положение ключевого (и эталонного) участка, на нем – линию ландшафтного профиля с опорными точками наблюдения.

3. Обосновать необходимость выделения на ландшафтном профиле дополнительных точек – основных, картировочных и специальных.

*Зачетный материал по теме:* опорный ландшафтный профиль и описание основных точек наблюдения.

Вспомогательный материал можно найти в справочном материале.

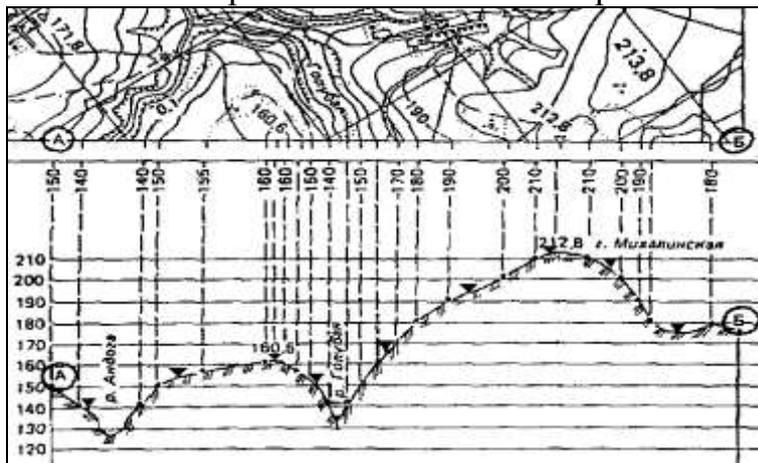


Рис. 2 Методика построения комплексного (экологического) профиля по топографической карте; ▼ – места закладки «ключей» на профиле

### Справочный материал

по теме: «Характеристика полевых методов экологических исследований»

Сочетание и детальность полевых методов зависит от масштаба картирования.

Ландшафтно-экологическое картирование конкретной территории осуществляется при помощи следующих методов:

- 1) маршрутного наблюдения,
- 2) исследований на опорных точках ландшафтного профиля,
- 3) изучения компонентов ландшафта на ключевых участках («ключях»).

Детальное (сплошное) картирование проводится при детальной съемке в масштабе М 1: 200 – М 1: 1000. При средне- и мелкомасштабном картировании заметно уменьшается количество маршрутов. Все большее значение приобретает экстраполяция результатов полевых наблюдений на гео-экокомплексы - аналоги. Ландшафтной съемке предшествуют *рекогносцировочные исследования* (т.е. предварительное знакомство с изучаемой территорией), позволяющие решить следующие задачи:

- 1) проверить ряд контуров фаций и урочищ, выделенных на макете ландшафтной карты с реальными объектами,
- 2) составить рабочий план изысканий, выработать единую терминологию и утвердить единые методы исследований,
- 3) подготовить (и раздать) всем участникам экологических изысканий диагностические признаки, позволяющие определить генетические особенности почв, растительности и характер их загрязнения,

4) утвердить терминологию и последовательность изыскательных работ с составлением сметы расходов.

**Маршрутный метод** позволяет изучить пространственные комбинации фаций и урочищ в ландшафте, уточнить межфациальные рубежи и выявить особенности антропогенных трансформаций. Маршруты планируют так, чтобы они, по возможности, полнее пересекали все виды урочищ по наиболее коротким ходам. Иными словами, маршрутом следует пересечь все элементы мезорельефа. Протяженность и длительность маршрутов определяется категорией сложности объекта и масштабом полевых работ. При маршрутных исследованиях используют эмпирические подходы – наблюдения, описания и измерения. Обращается внимание на: характер смены мезоформ рельефа и особенности расчленения рельефа (включая и эрозию), своеобразие микрорельефа, смену фитоценозов (при изменении видового состава сообществ) и их взаимосвязь с литологией пород, нахождение межфациальных границ.

**Метод опорного ландшафтного профилирования** является основным приемом изучения вертикальной структуры и свойств компонентов фаций и межфациальных взаимосвязей. Количество опорных профилей зависит от сложности территории изысканий, поэтому при IV-й и V-й категориях сложности на предварительной (камеральной) ландшафтной карте закладывают не один, а несколько профилей, чаще всего параллельных и реже – перпендикулярных друг другу. Профиль начинается от берега реки и заканчивается в автономных (водораздельных) ландшафтах. Другой пример: от днища межгрядовой долины по склонам к автономным ландшафтам.

Построение ландшафтного профиля начинается с вычерчивания гипсометрического, а затем и геоморфологического профилей. Последние точно переносятся на миллиметровку в день камеральной обработки собранного материала. Условными обозначениями на ландшафтном профиле показывается вертикальная структура фаций (породы, рыхлые покровные отложения, почвы, фитоценозы, уровень грунтовых вод) и особенности границ между ними.

**Ключевой метод исследования** наиболее широко используется при средне- и мелкомасштабных исследованиях. Здесь большую помощь оказывают материалы аэро- и космической съемки и результаты их дешифрирования. Ключевые участки выбирают по характерному сочетанию разных урочищ, а при мелкомасштабных исследованиях (М 1:1000000 и меньше) они включают ряд ландшафтов. На «ключках» в более крупном масштабе проводятся сплошные полевые работы по сравнению с остальной территорией. При этом используются: опорное ландшафтное профилирование, маршрутные наблюдения, исследования на основных и опорных точках.

Цель мелкомасштабной ландшафтной съемки состоит в проверке достоверности контуров, состава и структуры геокомплексов, выделенных в

мелком масштабе на космических фотоснимках. Это, как правило, крупные урочища, виды и группы ландшафтов.

Основное требование к точности ландшафтной съемки – достаточность (для конкретного масштаба) точек наблюдения. Они должны весьма полно (и рационально) охарактеризовать все контуры геокомплексов. Эти требования определяются по аналогии с почвенной съемкой. При ландшафтной съемке масштаба М 1:1000000 минимальная величина контура на карте составляет  $0,2 \text{ см}^2$ , что в натуре составляет  $20 \text{ км}^2$ . При масштабе изысканий М 1:100000 –  $0,5 \text{ см}^2$  (на карте) и  $0,5 \text{ км}^2$  на местности; при масштабе М1:25000 –  $0,5 \text{ см}^2$  на карте и  $0,03 \text{ км}^2$  на местности.

Достаточность точек наблюдения при разномасштабной съемке коррелирует с категорией сложности. Частая смена в пространстве одного или двух факторов определяет разнообразие морфологии ландшафта и мелкоконтурность его компонентов. Все это создает известные трудности при изучении ландшафтов и при их фиксации на картоснове. Здесь большую помощь могут оказать приемы компьютерного моделирования с использованием геоинформационных систем (ГИС технологии).



Рис. 3 Профиль подзола иллювиально-железистого песчаного на двучленных отложениях у основания крупного муравейника в таежном лесопарке г. Петрозаводска Карелия (фото И.М. Яшин, 2014).

## ТЕМА 4

### Географо-геохимическая характеристика основных типов ландшафтов

**Цель:** научить студентов правильно оценивать состояние и функции некоторых ландшафтов.

**Исходный материал для задания:** учебные пособия и специальные монографии:

- 1) «Почвы Московской области», ред. акад. РАСХН Л.Л. Шишов.
- 2) «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах» (Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А., 2000),
- 3) «Ландшафты» - Исаченко А.Г. (1992).

#### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите *основные ландшафты Подмосковья*.

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Назовите *основные компоненты пойменного ландшафта*. Почему нельзя строить жилища и промобъекты в поймах крупных рек Европейской части, Сибири и Дальнего Востока?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2а. Что можно строить в поймах крупных рек?

---

---

---

3. Назовите компоненты фации – ельника-черничника зеленомошного в Архангельской области.

---

---

---

---

---

4. Какую экологическую роль играет таежная хвойная растительность в функционировании ландшафта?

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Где в таежном ландшафте формируются песчаные иллювиально-железистые подзолы?

---

---

---

---

---

---

Покажите на схеме речной долины местоположение подзолов.

6. В каком ландшафте формируются аллювиальные почвы и почему?

---

---

---

---

---

---

7. В чем состоит особенность ландшафтов борových террас?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

8. В каких ландшафтах тайги распространены дерново-карбонатные почвы?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9. Могут ли в ландшафтах тайги на бескарбонатных породах сформироваться серые лесные почвы по аналогии с Тульскими засеками?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

10. В каких условиях ландшафта (и агроландшафта) формируются дерновые луговые почвы, ошибочно диагностируемые в условиях Владимирского ополья как почвы со вторым гумусовым горизонтом?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Порядок выполнения задания по теме 4

По заданию преподавателя в рабочей тетради студенты дают эколого-геохимическую характеристику *нативным или антропогенно преобразованным ландшафтам* следующих природных зон Земли: тайги, лесостепи, степи (по выбору). Необходимо объяснить состояние, структуру и специфику функционирования *одного из указанных ландшафтов*. Укажите роль таежной биоты в формировании почв и почвенного покрова: в частности, направленность процесса гумусообразования и миграции веществ.

### Вспомогательный материал

Дается краткая характеристика структурных элементов ландшафта. К ним относятся фации, урочища (подурочища) и местности. На крупно- и среднемасштабных ландшафтных картах обязательно выделяются урочища. Подурочища и местности выделяются по мере необходимости. Рассмотрим эти положения. **Урочища** представляют собой сложно организованный природно-территориальный комплекс (ПТК), состоящий из группы смежных фаций (или их сочетаний). **Фации** могут быть фоновые, второстепенные, доминантные и субдоминантные среди **фоновых**. Поскольку в дифференциации урочищ ведущая роль принадлежит рельефу и породам, то именно этим факторам и отводится определяющее значение при названии урочищ. Например: урочища моренных холмов и увалов с подзолистыми почвами под ельниками-черничниками зеленомошными; урочища междувадных низин с болотными, дерново-глеевыми и болотно-подзолистыми почвами под осоковыми лугами и ельниками долгомошными.

**Местность** – довольно крупный ПТК в ландшафте, особенности которого обусловлены комплексом мезоформ рельефа. Обособление местностей может быть вызвано различными причинами: эрозией и денудацией более древних пород, близким залеганием к поверхности пород иного генезиса, разной интенсивностью флювиальных (водных) потоков.

*Названия местностей:* местности сырых и сухих оврагов, вскрывающих известняки; местность гривистой (прирусловой) поймы реки с иллювиальными почвами; урочища и фации местности столовых останцовых гор или плато; местности высоких моренных холмов среди болотных урочищ; местности карстовых полей (Каргополье, Архангельская область).

**Фация** – это функционально целостный, *элементарный ПТК*. В пределах одного мезорельефа, как правило, залегают 2-3 и более фаций. **Названия:** фация сосняка-брусничника со среднеподзолистой гумусово-железистой почвой боровой террасы р. Мезени; фация ивняка осоково-таволгового с пойменной дерново-глеевой почвой притеррасной поймы р. Сев. Двины.



**А**

**В**

Рис. 4. Центрально-лесной биосферный заповедник в Тверской области: **А** – фация ельника – долгомошника на подзоле иллювиально-железистом песчаном на двучленных отложениях (при близком залегании грунтовых вод); **В** – фация ельника сложного на подзоле иллювиально-железистом песчаном на двучленных отложениях (грунтовые воды залегают глубже 2,7 м) – фото И.М. Яшина (2013).



Рис.5. Центрально-лесной биосферный заповедник в Тверской области: в пределах 1-й надпойменной террасы реки Межа расположено урочище, состоящее, в частности, из нескольких фаций – фации луга разнотравного на дерново-подзоле супесчаном грунтово-глееватом на древнем аллювии – справа (внизу на фото) видны раскопки после закладки сорбционных лизиметров; фации ельника сложного на подзоле иллювиально-железистом песчаном на двучленных отложениях и другие (фото И.М. Яшина, 2015).

## Часть 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Физико-химические (инструментальные) методы, используемые для оценки экологического состояния аграрных и иных ландшафтов

### Вопросы для самоконтроля

1. Почему *природные сорбенты* рассматриваются почвоведом и экологами как фактор качества жизни и экологической безопасности людей и биосферы?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Назовите *основные классы* природных и искусственных сорбентов.

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Приведите примеры *гидрофобных и гидрофильных сорбентов*. Какие классы веществ они сорбируют из *почвенных растворов*?

---

---

---

---

---

---

---

---

Что такое *сорбция*? Какие процессы преобладают на сорбционном барьере, например, в горизонте А<sub>1</sub> лесной дерново-подзолистой почвы?

---

---

---

---

---

---

---

---

## Лабораторная работа № 1

### «Природные и искусственные сорбенты - фактор качества жизни и экологической безопасности»

Рекомендуется прочитать и выбрать один из следующих вариантов (и тему) лабораторной работы №1.

**Тема №1а.** *Использование ионообменной хроматографии для очистки различных водных растворов от катионов и анионов.*

Литература: 1. Карпухин А.И., Яшин И.М., Черников В.В. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. - С. 107-126.

2. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: МСХА. 1996. – 143 с.

3. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. Учебное пособие с грифом Минсельхоза РФ. М.: МСХА. 2000. – 560 с.

В лабораторной работе № 1а студенты самостоятельно проводят очистку одного из природных водных растворов от ионов. *Применяются стеклянные хроматографические колонки или стеклянные фильтры - Нутча (№2, 3, 4). Сорбенты : катионит КУ-2 в  $H^+$  форме и анионит АВ-17 в  $Cl^-$  или  $OH^-$  формах.* Обсуждаются как теоретические аспекты кинетики, статики и динамики сорбции, так и практические аспекты данного метода: использование деионизированной воды в химии, экологии и медицине.

При интерпретации полученных результатов опытов рекомендуется использовать научные публикации В.В. Рачинского, А.Д. Фокина, А.И. Карпухина и И.М. Яшина, в частности, в журналах «Известия ТСХА» и «Почвоведение» за период с 1961 по 2016 годы. В.В. Рачинский, например, известен как крупный специалист в области динамики сорбции и хроматографии. А.Д. Фокин, А.И. Карпухин и И.М. Яшин проводили длительные стационарные исследования по миграции и трансформации органических и органоминеральных веществ (в том числе и тяжелых металлов) в почвах тайги. Они являются учениками научной школы В.Р. Вильямса - С.П. Яркова – И.С. Кауричева. Указанные исследователи внесли крупный вклад в изучение генезиса почв, их свойств и обоснование экологических функций почв и гумусовых соединений. И.М. Яшин, например, усовершенствовал *метод сорбционных лизиметров, изучает барьеры миграции и трансформацию веществ в почвах таежной и лесостепной зон.* Для более полного познания процессов сорбции веществ и ионов тяжелых металлов, в частности, в *сорбционных лизиметрах, установленных в профиле почвы,* необходимо проводить лабораторные исследования по их сорбции разными сорбентами. Следует установить емкость сорбентов, чтобы правильно рассчитать их мощность в колонках.

## Фракционирование смеси ионов с помощью сорбции на ионитах

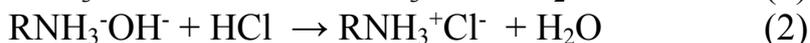
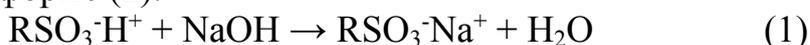
**Цель работы:** определение полной обменной емкости катионита КУ-2 в  $H^+$  форме и разделение смеси катионов на ионообменной сорбционной колонке.

**Задачи:** ознакомить студентов с теорией ионообменной сорбции.

### Общая часть

При проведении лизиметрических опытов с помощью метода сорбционных лизиметров нередко возникает ситуация, когда в лаборатории приходится разделять смесь катионов на сорбенте. В этой связи рассматриваемая лабораторная работа имеет важное научно-практическое значение. Установлено, что сорбционные колонки, используемые без приемников лизиметрических вод, не учитывают часть массы мигрантов. В этой связи, нами используются в одной колонке несколько сорбентов.

Рассмотрим реакции ионного обмена на катионите в  $H^+$  форме (1) и анионите в  $OH^-$  форме (2):



При статическом методе смолу, например катионит в  $H^+$  форме, титруют раствором щелочи. При динамическом методе величина полной обменной емкости (ПОЕ) определяется в динамике с помощью хроматографических колонок. Через сорбционную колонку, заполненную ионообменной смолой, пропускают раствор электролита и регистрируют зависимость концентрации поглощаемого иона в выходящем растворе (элюате) от объема прошедшего раствора (выходная кривая).

В данной работе величина ПОЕ сульфокатионита КУ-2 в  $H^+$  форме определяется по количеству образовавшейся кислоты в элюате, в результате вытеснения из смолы ионов  $H^+$  ионами  $Na^+$ :

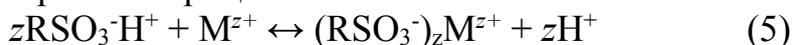


ПОЕ сорбента рассчитывают по формуле (4):

$$ПОЕ = \frac{V_{общ}c}{m} \quad (4)$$

где  $V_{общ}$  — суммарный объем раствора, содержащий вытесненную из смолы кислоту (ионы  $H^+$ );  
 $c$  — концентрация кислоты (ммоль/л; мг/л);  
 $m$  — масса ионообменной смолы в колонке (г).

Если через колонку с катионитом, в верхней части которой находится сорбированный ион  $M^{z+}$ , пропускается раствор кислоты, то в смоле происходит многократный процесс ионного обмена:



В условиях *сорбционного равновесия* при распределении ионов между протекающим раствором и слоями ионита (равновесная сорбция) отношение

между концентрациями иона  $M^{z+}$  в смоле  $\bar{c}$  и растворе  $c$  (при малых значениях концентрации) равно:

$$\frac{\bar{c}}{c} = K_{1,2} \frac{[H^+]^z}{[H^+]^z} \quad (6)$$

Скорость нисходящего перемещения хроматографической зоны с постоянной концентрацией иона по высоте сорбционной колонки равна:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{v}{s(d\bar{c}/dc)} \quad (7)$$

где  $v$  — объемная скорость пропускания раствора кислоты ( $\text{см}^3/\text{с}$ );  
 $s$  — площадь сечения колонки ( $\text{см}^2$ ).

В реальных почвенных условиях равновесие не успевает полностью установиться вследствие медленной диффузии ионов в частицах почвы, что приводит к *размытию хроматографической зоны*. Весьма четко диффузное размытие выражено в почвах, испытывающих оглеение. Здесь обычно выражена сегрегация ионов закисного железа в мелкие конкрекции.

Выражение (7) можно преобразовать следующим образом:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{h}{\tau_{\max}}, V_{\max} = v\tau_{\max}; \quad \frac{dx}{d\tau} = \frac{hv}{V_{\max}} \quad (8)$$

где  $V_{\max}$  и  $\tau_{\max}$  — объем протекающего через колонку раствора и время, отвечающее максимуму выходной кривой (мл и с);

$h$  — длина колонки см.

При малых концентрациях иона  $M^{z+}$  и постоянной концентрации кислоты производную  $d\bar{c}/dc$  можно заменить на отношение конечных величин  $\bar{c}/c$  и считать концентрацию ионов водорода в смоле  $[H^+]$  равное ПОЕ. Тогда:

$$\frac{d\bar{c}}{dc} \cong \frac{\bar{c}}{c} = K_{1,2} \frac{[ПОЕ]^z}{[H^+]^z} \quad (9)$$

Из уравнений (6) — (9) следует:

$$K_{1,2} = \frac{V_{\max} [H^+]}{[ПОЕ]^z hs} \quad (10)$$

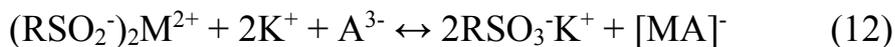
Значение  $V_{\max}$  находят с учетом поправки на свободный объем колонки  $V_0$ :

$$V_{\max} = V_{\max}^* - V_0 \quad (11)$$

где  $V_{\max}^*$  — объем элюата, вышедшего из колонки от начала элюирования  $M^{z+}$  в элюате (максимум на выходной кривой).

*При хроматографическом разделении ионов широко используется различная их склонность к образованию комплексных соединений.* Например, кобальт и медь могут быть разделены в колонке с сульфокатионитом при помощи десорбента — *раствора цитрата калия (лимоннокислый калий)*. Если пропустить через катионит в  $K^+$  форме раствор, содержащий небольшое количество разделяемых элементов в отсутствие комплексообразователя, то ионы кобальта и меди поглощаются в верхнем слое смолы. *Разделить кобальт и медь динамическим методом, промывая колонку раствором,*

содержащим ионы  $K^+$ , трудно, так как константы обмена ионов  $Co^{2+}$  и  $Cu^+$  на ион  $K^+$  отличаются не намного. Если через колонку пропускать раствор цитрата калия (десорбент), то при контакте его со смолой происходит частичная десорбция меди и кобальта вследствие комплексообразования, например:



где  $A^{3-}$  — комплексообразующий анион лимонной кислоты.

С лимонной кислотой ионы кобальта и меди образуют несколько различных комплексных соединений  $[MA]^-$ ,  $[MA_2]^{4-}$  и другие, которые не адсорбируются на катионите.

Таким образом, в присутствии органических лигандов (моно-, би-, три-, и полициклических) уменьшается концентрация катионов  $Co^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , способных сорбироваться на катионите, и возрастает доля несорбирующихся комплексных  $Co$  и  $Cu$ . При инфильтрации через слой сорбента вытеснителя (цитрата калия) происходит многократная сорбция-десорбция разделяемых ионов, причем катионы меди, образующие более устойчивые комплексы  $[R-Cu]^{4-}$  передвигаются вниз по слою ионита с большей скоростью и отделяются от аналогов кобальта. В результате образуются различные по окраске зоны: голубая для  $Cu$  и оранжевая для  $Co$ .

Указанные положения теории иообменной сорбции в той или иной мере рассматривались нами ранее при изучении трансформации в сорбционных лизиметрах известковых мелиорантов и мобилизации в раствор ионов кальция и ряда тяжелых металлов.

В полевых опытах было показано, что преимущественно ионы кальция и часть массы ионов тяжелых металлов не сорбируются катионитом КУ-2 и в заметных количествах проникают в приемник лизиметрических вод. Таким образом, их форма миграции в профиле почвы становится более определенной.

### Порядок выполнения работы

#### Разделение смеси ионов $Cu^{2+}$ и $Co^{2+}$ на катионите КУ-2 в водном растворе

Для проведения работы необходимы:

- Хроматографическая колонка с ионообменной смолой КУ-2,
- Фотоэлектрический колориметр (ФЭК 56М),
- Градуированные пробирки,
- Стакан емкостью 50 мл,
- Раствор соли кобальта (II) и соли меди (II),
- 3 М раствор HCl,
- 1,5 М раствор KCl,
- Раствор, содержащий 0,15 моль/л однозамещенного цитрата калия и 0,15 моль/л двузамещенного цитрата калия.

Катионит предварительно переводят в  $K^+$  форму (см. определение ПОЕ смолы КУ-2). Для этого через колонку со скоростью 2 капли в 1 с

пропускают последовательно растворы: 20 мл 3 М НСl, 40 мл 1,5 М КСl, 20 мл Н<sub>2</sub>О. Затем около 4 мл разделяемой смеси *ионов меди и кобальта* пропускают через смолу и *колонку промывают* небольшим количеством (15-20 мл) воды. При этой операции ионы Cu<sup>2+</sup> и Со<sup>2+</sup> поглощаются в верхней части катионита (этот слой приобретает бурую окраску). В небольшую емкость над хроматографической колонкой наливают *раствор цитрата калия*, постепенно открывают кран колонки и собирают элюат в пробирки по 4,0-4,5 (5,0) мл. Скорость элюирования должна соответствовать 1 капле в 1 с.

Периодически добавляют раствор десорбента и проводят элюирование до полного выхода кобальта из колонки, о чем свидетельствует исчезновение оранжевой окраски элюата. С помощью *фотоэлектроколориметра* измеряют оптическую плотность D каждой порции элюата со светофильтром 480 нм (для определения содержания кобальта). *Методика определения оптической плотности* приведена ниже, а в таблицу заносятся результаты опыта. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду. По калибровочным графикам, построенным с применением стандартных растворов солей меди и кобальта, находят концентрации Cu<sup>2+</sup> и Со<sup>2+</sup> в каждой пробе. Полученные данные записывают в таблицу 1 и строят выходную кривую фракционирования ионов Cu<sup>2+</sup> и Со<sup>2+</sup>.

Таблица 1

Экспериментальные данные по сорбционному разделению Cu<sup>2+</sup> и Со<sup>2+</sup> на катионите КУ-2 в динамике

Номер пробы	Объем пробы, мл	D при 620 нм	[Cu <sup>2+</sup> ], г/л	D при 480 нм	[Со <sup>2+</sup> ], г/л	Объем элюата V, мл
1						
2						
3						

#### Порядок работы на приборе ФЭК-56М

Включают фотоэлектроколориметр и «прогревают» его в течение ~ 30 мин. Устанавливают электрический нуль прибора, для чего рукояткой на верхней панели прибора световые лучи перекрывают шторкой (рукоятка в правом положении) и рукоятками «нуль» на левой панели устанавливают стрелку микроамперметра на «О». *Правый луч* — измерительный, а *левый* — компенсационный.

На пути левого светового луча устанавливают кювету, заполненную дисперсионной средой (водой). В правый кюветодержатель помещают две кюветы: одну с растворителем (Н<sub>2</sub>О), другую — с исследуемым раствором. Вращая рукоятку на правой панели прибора на пути правого светового луча устанавливают кювету с раствором. Индексы правого и левого барабанов устанавливают на «О» по шкале оптической плотности (нанесена красными цифрами). Затем шторку, перекрывающую световые лучи, переводят в

положение «открыто». Вследствие поглощения или рассеяния света исследуемой системой стрелка микроамперметра будет отклоняться от нулевого положения. Вращая барабан левой раздвижной диафрагмы, стрелку микроамперметра возвращают на «О» (уравнивают интенсивности обоих световых потоков). Затем поворотом рукоятки на правой панели прибора по ходу правого луча устанавливают кювету с дисперсионной средой. При этом стрелка микроамперметра, установленная на «О», смещается, так как фотометрическое равновесие снова нарушается. Вращением правого барабана добиваются первоначального нулевого положения стрелки и отсчитывают по шкале правого барабана значение оптической плотности исследуемой системы.

Определение полной обменной емкости (ПОЕ) катионита  
КУ-2 в  $H^+$  форме в динамике

Для проведения работы *необходимы*:

- Хроматографическая колонка, заполненная 5 г смолы КУ-2,
- рН - метр марки рН-340,
- Градуированные пробирки,
- Мерный цилиндр емкостью 250 мл,
- Стакан емкостью 50 мл,
- Бюретка,
- 3 М раствор HCl,
- 1,5 М раствор NaCl,
- 0,2 М раствор KOH,
- Фенолфталеин.

Ход эксперимента

В работе используется хроматографическая колонка, устройство которой изображено на рис. 2. Рабочий объем колонки 5, представляющий трубку с внутренним диаметром 10 мм и высотой 200 мм, заполнен сульфокатионитом КУ-2 с размером зерен 0,4-0,6 мм. Емкость 2 для элюента соединена с рабочим объемом колонки трубкой 4, благодаря которой создается избыточное гидростатическое давление, необходимое для прохождения раствора через слой ионита. Тонкий стеклянный стержень 3 способствует заполнению трубки раствором. Скорость пропускания раствора регулируется краном 6.

Таблица 2

Определение величины ПОЕ катионита КУ-2 в динамике

№ пробы	Объем пробы, мл	рН пробы	Суммарный объем элюата
1			
2			
3			

Все растворы, содержащие вытесненную из смолы кислоту (остатки элюата в пробирках, растворы из кюветы рН-метра, вода после промывки пробирок и кюветы рН-метра), объединяют, сливают в мерный цилиндр и

измеряют  $V_{\text{общ}}$ . Из этого общего объема пипеткой отбирают аликвоту (10 мл), переносят в плоскодонную колбу и титруют 0,2 М водным раствором КОН в присутствии индикатора фенолфталеина. Определяют концентрацию кислоты. Затем рассчитывают величину ПОЕ катионита в мг-экв на 1 г ионита по формуле:

$$\text{ПОЕ} = \frac{V_{\text{общ}} \cdot C}{m} \quad (13)$$

Если определяется полная динамическая обменная ёмкость (ПДОЕ) катионита по отношению к ионам металла, допустим  $\text{Zn}^{2+}$ , то эту аналитическую операцию рассмотрим на следующем примере.

**Пример:** Определить ПДОЕ катионита КУ-2 (моль/г), если известно, что через сорбционную колонку, содержащую 5,0 г сорбента, пропустили 250 мл 0,05 М водного раствора  $\text{ZnSO}_4$ , а вытекающий из колонки элюат последовательно собрали в 5 колбочек по 50 мл и определили в них концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  моль/л: в 1-й — 0,008, во 2-й — 0,029; в 3-й — 0,038; 4-й — 0,050 и 5-й — 0,05.

**Решение.** Вычисляем количество эквивалентов  $\text{Zn}^{2+}$ , поглощённое из каждой порции раствора, принимая молярную массу эквивалента равной М ( $1/2\text{Zn}^{2+}$ ). Получим для пяти порций элюата:

$$\text{1-я порция: } \frac{(0,05 - 0,008) \cdot 2 \cdot 0,05 \text{ л}}{1000} = 4,20 \text{ ммоль}$$

$$\text{2-я порция: } \frac{(0,05 - 0,029) \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 2,1 \text{ ммоль}$$

$$\text{3-я порция: } \frac{(0,05 - 0,038) \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 1,20 \text{ ммоль}$$

4 и 5-я пробы не содержали ионов  $\text{Zn}^{2+}$ . Всего в 5-ти порциях раствора было обнаружено ионов цинка:  $4,2 + 2,1 + 1,2 = 7,5$  ммоль  $\text{Zn}^{2+}$  ( $1/2$ ).

Отсюда ПДОЕ катионита КУ-2 равна:  $7,5/5 = 1,5$  ммоль/г сорбента.

### Выводы по работе:

1. В отличие от химического подхода при эколого-геохимическом в лабораторной работе предвательно рассматриваются особенности *организации стационарных наблюдений в ландшафтах*. Это позволяет студентам полнее познать ландшафтную ситуацию и целенаправленно проводить лабораторные исследования;

2. Поскольку при изучении процессов трансформации и водной миграции веществ в почвах ландшафтов часто используется метод сорбционных лизиметров, понятна актуальность проведения лабораторных опытов по изучению сорбции-десорбции веществ целевыми сорбентами;

3. Изучены особенности сорбции ряда ионов тяжелых металлов на катионите КУ-2 в  $\text{H}^+$  форме; результаты помогают понять функционирование сорбционных лизиметров.

4. Установлена своеобразная роль *органических лигандов* в комплексообразовании с ионами кобальта и меди, и слабая сорбция их устойчивых (и водорастворимых) органоминеральных комплексов катионитом КУ-2 в  $\text{H}^+$  форме, т.к. они имеют отрицательный заряд.

***Контрольные вопросы к защите лабораторной работы № 1***

1. Охарактеризуйте реакцию ионного обмена в водном растворе между катионами кальция и ионами водорода катионита КУ-2,

---

---

---

---

---

2. Напишите реакцию ионного обмена между цитратом меди и ионами калия, сорбционно закрепленными на катионите КУ-2,

---

---

---

---

---

3. Для каких целей в сорбционных лизиметрах используется катионит КУ-2 в Н<sup>+</sup> форме?

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Каким образом можно определить полную динамическую емкость сорбента (катионита КУ-2)?

---

---

---

---

---

5. В сорбционных лизиметрах используется произвольная или определенная масса сорбента? От чего она зависит?

---

---

---

---

---

---

## Оценка результатов выполненной лабораторной работы

Каждая лабораторная работа оценивается в 10 баллов. Оценка складывается из трех составляющих:

- подготовка к лабораторной работе, включая оформление (ведение Рабочей тетради по МЭИ), знание теоретической части и расчеты к работе – максимум 5 баллов;
- выполнение лабораторной работы (получение экспериментальных данных) – максимум 3 балла;
- защита лабораторной работы (умение обосновать ход и результаты работы) – максимум 2 балла.

### Вопросы для самоконтроля по теме 2а

1. Какие методы используются для *глубокой очистки природной воды*?

---

---

---

---

---

---

2. Какие сорбенты применяют для очистки природных вод *от соединений железа*?

---

---

---

---

---

---

3. Какие сорбенты применяют для *глубокой очистки природных вод от водорастворимых органических веществ с кислотными свойствами*?

---

---

---

---

4. Какие методы применяют для *дезинфекции природных вод* перед водопотреблением?

---

---

---

---

---

5. Для каких целей проводят центрифугирование и диализ природной воды? \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

6. С какой целью проводят *озонирование и известкование* природных вод перед водопотреблением?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Приведите примеры возможных химических реакций**

1. Взаимодействие  $\text{CaCO}_3$  с органической кислотой (щавелевой):

2. Взаимодействие катионов кальция с гидрозолем гидроксида железа:

## Тема № 2а

### Аналитическая технология глубокой очистки воды от примесей, ионов, коллоидов, органических лигандов, экотоксикантов, болезнетворных микроорганизмов, вирусов и простейших паразитов

Экологи, токсикологи и гидрохимики отмечают, что в водных источниках заметно возросла концентрация различных *возбудителей заболеваний*. Это связано с изменением гидрохимического состава поверхностных природных вод и микробиологическим загрязнением за счет привноса бытовых стоков и фекальных масс. Известно, что в бытовых и сточных водах встречаются микроорганизмы, вызывающие инфекционные (и эпидемиологические) заболевания: дизентерию, брюшной тиф, гепатит, лямблиоз, сальмонеллез. Из кишечника и моче – половых путей человека выделяется более 100 видов вирусов, которые проходят через простые очистные сооружения и попадают в водоемы. *В курортных городах подобные стоки очень часто сбрасываются вблизи пляжей неочищенными* в морской бассейн. Коммунальные службы, по-видимому, предполагают их естественную дезинфекцию и самоочищение в соленой воде. Однако на мелководье, даже в морской воде, инфекция сохраняется довольно длительное время, достаточное для заражения людей (туристов и отдыхающих) в жаркие летние месяцы курортного бума, особенно в тропиках и субтропиках. Установлено, например, что за сутки больной или инфицированный человек выделяет  $2-7 \times 10^8$  шт. болезнетворных микробов, а в 1г фекалий содержится в среднем 2000 тыс. цист лямблий.

Этот пример наглядно показывает, с одной стороны, насколько важен здесь **экологический мониторинг** за эко-токсикологическим состоянием почв, стоков и природных вод, а с другой – какие высокие требования должны предъявляться к обеззараживанию и очистке сточных вод. В настоящее время данная экологическая проблема является приоритетной.

### **Методы, используемые при очистке и дезинфекции природных вод**

Промышленные сточные воды зачастую биологическим путем не очищаются, поэтому существенное значение имеет их локальная физико-химическая обработка до сброса в общегородской коллектор. Бытовые сточные воды обычно хлорируют, озонируют, обрабатывают пероксидом водорода (это экологически «чистый» окислитель), а также подвергают воздействию УФ-света и гамма-излучению.

**Хлорирование** – один из самых распространенных методов дезодорации сточных и бытовых вод. Несмотря на простоту и компактность установок для хлорирования, доступность и дешевизну хлора и его

производных ( $\text{ClO}_2$ ,  $\text{HOCl}$ ...) очистка воды активным хлором может иметь ограниченное применение. Связано это с недостаточной глубиной окисления растворимых органических веществ (нативных и искусственных), образованием токсичных хлорорганических соединений, необходимостью применения высоких доз хлора, токсичностью самого реагента – хлора.

**Озонирование** – технологический прием, при котором происходит одновременное окисление органических веществ, растворенных в воде, обесцвечивание, дезодорация, обезвреживание стоков и насыщение воды кислородом. Озон используется также для очистки вод от цианидов, роданидов, сероводорода, мышьяка и иных экотоксикантов, а также от гумусовых веществ, пестицидов, фенолов и углеводов. Озон эффективен при водоподготовке питьевых вод. Озон представляет собой модификацию  $\text{O}_2$ , но сильно от него отличается: он интенсивно окрашен, токсичен и взрывоопасен. ПДК для озона в рабочей зоне составляет 0,0001 мг/л. Эффективность использования озона резко возрастает в присутствии сорбентов, например, активированного угля.

**Пероксид водорода** – по сравнению с озоном имеет следующие преимущества: он хорошо растворим в воде, устойчив в водных растворах, окисляет широкий спектр органических соединений при различных величинах pH, нетоксичен. В силу своих технологических преимуществ  $\text{H}_2\text{O}_2$  нашел широкое применение в зарубежной практике очистки сточных и бытовых вод. Метод отличает дефицит реагента и его высокая стоимость. Вернемся к теме № 2.

*Предлагаемая лабораторная работа* включает ряд этапов при использовании физико-химических методов и обеззараживания воды:

**первый** - отстаивание, аэрация, озонирование и обработка  $\text{H}_2\text{O}_2$ ;

**второй** – коагуляция коллоидов кремния, железа, алюминия, марганца...коагулянтами, а также флокуляция и флотация;

**третий** – центрифугирование;

**четвертый** - фильтрация и ультрафильтрация;

**пятый** - сорбция растворимых (ионно-молекулярных) форм химических соединений различными сорбентами: оксидом алюминия, активированным углем, порошком кальцита (или доломита).

В теоретической части работы особое внимание уделяется свойствам *активированных углей* - уникальным поглотителям различных классов веществ из водных растворов, а также анализу математических уравнений изотерм сорбции – по Лэнгмюру, Фрейндлиху, Генри...

## Литература:

1. А.А. Лурье «Хроматографические материалы». М. Химия. 1978.
2. Экология Северной Двины. Архангельск. 1998.
3. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. – 183 с.

## Лабораторная работа № 2

### Изучение влияния компонентов «кислотных дождей» на экологическое состояние и функции почв таежных (и иных) экосистем

#### Вопросы для самоконтроля

1. Как возникают в ландшафтах «кислотные дожди»? Какие компоненты они содержат?

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Как влияют «кислотные дожди» на компоненты почвы?

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Могут ли улучшать почвенное плодородие агроэкосистем «кислотные дожди»?

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Какие технологические методы можно рекомендовать для уменьшения масштаба «кислотных дождей»?

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Что происходит при контакте «кислотных дождей» с гумусовыми веществами почвы?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Что такое техногенная кислотность ландшафтов?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

7. Объясните термин «биогенная кислотность» таежной экосистемы.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

В теоретической части работы рассматривается химическое воздействие водных растворов некоторых минеральных кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $HNO_3$ ...) на состав обменных катионов почв подзолистого типа, емкость поглощения и свойства почвенно-поглощающего комплекса (ППК), кислотность почвы и подвижность гумусовых соединений. Отмечаются функции и роль ионов водорода и алюминия в формировании свойств почв подзолистого типа.

Лабораторные опыты проводятся в статике и динамике (в хроматографических колонках) с образцами почв, известняка и сорбентов. Техника постановки опытов может быть заимствована из предыдущих лабораторных работ. *Опыты проводятся в лаборатории ЛАМП, каб. 213.*

Студентам предлагается самостоятельно провести эксперимент по влиянию водных растворов сильных минеральных кислот на ППК подзолистой почвы и *чернозема выщелоченного* (учхоз «Муммовское» Саратовская область). Определить концентрации в элюатах ионов кальция и мобильного гумуса. Сделать экологические выводы: в чем отличие, например, воздействия слабых водных растворов азотной и серной кислот на почвы?



Рис.6 Студенты-экологи РГАУ-МСХА на выездной учебной практике в учхозе «Дружба» Ярославской области исследуют **влияние низкомолекулярных органических кислот** на рост и развитие растений люпина узколистного под руководством профессоров И.М. Яшина и Д.А. Постникова – на фото (фото И.М. Яшина, июль 2010 – период длительной засухи и пожаров).



3. Охарактеризуйте основные компоненты, входящие в состав мобильных гумусовых соединений.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Назовите этапы работы по фракционированию ВОВ по аналитической схеме Forsyth W. – Яшина И.М.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Объясните, почему в составе мобильных гумусовых соединений почв тайги содержатся органические вещества *кислотной природы*?

---

---

---

---

---

5. Какую роль играют органические кислоты в функционировании таежной экосистемы? Какая связь существует в таежной экосистеме между двумя важнейшими процессами – фотосинтезом и гумусообразованием?

---

---

---

---

---

---

---

---





**Задача:** рассчитать константу равновесия  $k_{\text{равн}}$  между индивидуальной (простые органические вещества фотосинтетической природы) и специфической – фульвокислотами - группами ВОВ. Оценить роль ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в формировании новых специфических компонентов ВОВ. Сделать вывод о направленности процесса гумификации органогенных субстратов (растительного опада и лесной подстилки) в почвах таежной зоны.

### Тема 3.3

#### Исследование молекулярно-массового состава компонентов ВОВ с кислотными свойствами с помощью метода гель-хроматографии

**Задача:** продолжить изучение выделенных из органогенных субстратов групп ВОВ индивидуальной и специфической (**фульвокислоты**) природы. В работе используются гели - декстрана Молселект и Сефадекс: G-10, G-25 и G-50.

Предварительно проводится калибровка хроматографических колонок, рассчитывается ряд их рабочих параметров и диагностируются молекулярные массы (ММ) ряда стандартных (сложных) природных органических веществ. См. научные работы А.И. Карпухина, 1986.

### Тема 3.4

#### Определение состава мобильных органоинеральных соединений с помощью метода систематизированной гель-хроматографии

**Задача:** выполнить следующие этапы лабораторной работы:

**1-й** - получить мобильные формы, например **Fe-** и **Cd-**органических соединений, в результате взаимодействия, например, мобильных органических лигандов с почвой,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;

**2-й** - определить в их составе массы ионов металла и  $\text{C}_{\text{орг}}$ ;

**3-й** - фракционировать, в частности, водорастворимые Fe-фульватные комплексные соединения на системе гелей: G-10, G-25, G-50;

**4-й** - изучить их устойчивость при прохождении через колонку с ионообменной смолой (или образцом почвы) и определить величину сорбции указанных соединений в статике (или динамике) тонкодисперсным порошком  $\text{CaCO}_3$ . В последнем опыте установить мобилизацию в раствор ионов кальция.

## Тема 3.5

### Характеристика и оценка биогенной кислотности таежной экосистемы

Данная тема представляет собой расчетно-аналитическую работу. Согласно И.М. Яшину и И.С. Кауричеву (1996) экологическая кислотность - это один из механизмов адаптации групп живых организмов к суровым условиям тайги. В принципе биогенное кислотообразование – это уникальный механизм функционирования таежной экосистемы. Студентам объясняется данный экологический механизм. Отмечается его важность и уникальность. Рассчитываются дополнительные массы ионов водорода из разных источников и потоки ВОВ в таежной экосистеме. Обращается внимание, что экологическая кислотность тесно связана с химической, диагностируемой обычно в твердой фазе (образце) почвы конкретного горизонта. **Констатируется:** функционирование реальной таежной экосистемы должно оцениваться по 3-м составляющим кислотности:

- экологическая (биогенная),
- химическая (почвенная) и
- антропогенная (кислотные дожди);

Суммарный параметр характеризуется как **общая кислотность экосистемы**. Указанные положения очень актуальны, особенно при расчете параметров почвенно-геохимических потоков мигрантов, а также при усовершенствовании методологии оценки и технологии известкования почв подзолистого типа. Необходимо подчеркнуть, что тема лабораторной **работы 3.5. является новой и приоритетной в почвенно-экологических изысканиях**. До сих пор совершенствование методологии исследования кислотности проводилось на нуль-мерном пространстве почвенного образца путем унификации методов диагностики в почве массы протонов.

*Новый экологический подход при оценке кислотности состоит в том, что почва нами рассматривается не только как самостоятельное естественно-историческое природное тело, но и как компонент реальной экосистемы и ее продукт. Следовательно, формирование и эволюция почвы неразрывно связаны как с процессами почвообразования, так и с функционированием конкретной экосистемы – биогеохимическим круговоротом веществ, а также биогенным кислотообразованием. Начало кислотообразования – процесс фотосинтеза.*

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое метод сорбционных лизиметров? Для каких целей он применяется? \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Какие типы лизиметров (кроме сорбционных) вы знаете?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Назовите недостатки плоского лизиметра Шиловой -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Нарисуйте схему сорбционного лизиметра с приемником вод и объясните его принцип действия в почве.

Принцип действия \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Схема сорбционного лизиметра:

сорбционная колонка - приемник лизиметрических вод



Рис. 7. Соискатель кафедры экологии РГАУ-МСХА Р.А. Атенбеков устанавливает сорбционные лизиметры в профиле почвы (фото И.М. Яшина, 2016).

Напишите (пользуясь фото), как устанавливают сорбционные лизиметры?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Охарактеризуйте методику химической очистки кварцевого песка (традиционную и по методу И.М. Яшина, 1991).

---

---

---

---

---



Нарисуйте схему *сорбционной колонки* и *сорбционного лизиметра*.

7. *Какие типы сорбентов, и для каких целей их применяют в почвенно-экологических исследованиях?*

Гидрофобные \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Гидрофильные \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ионообменники \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Другие сорбенты \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8. Какие сорбенты применяют в колонках для сорбции органических кислот из почвенных растворов?

---

---

---

---

---

---

---

---

Какие сорбенты используют в колонках для сорбции Fe-, Cd-, Zn-, Pb- органических комплексных соединений из почвенных растворов подзолистых почв тайги?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9. Охарактеризуйте методику расчета масштаба миграции веществ в почве с помощью метода сорбционных лизиметров.

Масштаб миграции, например углерода ВОВ, *можно рассчитать на основе выражения:*

10. Какие процессы лежат в основе хроматографического анализа?

---

---

---

---

---

---

---

---

## Тема 3.6

### Применение метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях

Студентам предлагается на выбор ряд научных задач, которые изложены в учебном пособии И.С. Кауричева, И.М. Яшина и В.А. Черникова «Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях» (1996, 143 с.)

В указанном пособии рассматриваются **следующие вопросы:** методология постановки модельных лабораторных экспериментов; закладка стационаров; физико-химические свойства сорбентов; аналитические схемы разделения и диагностики веществ в почвенных растворах; техника подготовки сорбционных лизиметров; фактический материал по вопросам трансформации и миграции веществ в почвах и почвенном покрове; поля миграции; параметры миграции, например ВОВ с кислотными свойствами и органо-минеральных соединений для уточнения параметров экологической кислотности. Каждый из этих вопросов может быть выбран в качестве темы для написания курсовой работы. Информация темы 3.6 тесно связана с практикой хроматографического анализа в почвоведении и экологии.

Таким образом, малый лабораторный практикум по курсу МЭИ позволяет студентам, обучающимся по специальности «Агроэкология», полнее ознакомиться с теоретическими и практическими аспектами хроматографии, ионометрии, фракционированием, фильтрацией и комплексобразованием. *Девиз практикума* можно охарактеризовать так: «Сорбенты – основа качества жизни и экологической безопасности».

Обучающиеся будут оценивать экологическую ситуацию ландшафтов и административных районов, в частности, Подмосковья. Интерпретация результатов опытов по хроматографии позволит студентам-экологам понять вклад почвенного покрова в формирование химического состава природных вод. Так, в таежной зоне формируется *масштабный биогенный и абиотический поток органических лигандов с кислотными свойствами*, являющихся движущей силой миграции различных химических элементов. Поэтому природные воды тайги содержат в растворимом (ионно-молекулярном) состоянии *большое количество фульвокислот* и иных органических веществ, а также *органо-минеральные соединения железа, алюминия кремния при дефиците кальция.* Качество таких вод для питья явно неудовлетворительное и требует обязательной очистки путем последовательных технологических операций: отстаивание, аэрация, коагуляция, фильтрация через песчано-карбонатные, целлюлозные и иные абсорберы..., обеззараживание и т.д. В зоне степей, где распространены черноземы, ситуация совершенно другая: химический состав поверхностных природных вод отличается очень низким содержанием ионных форм железа, алюминия и кремния. В водах преобладают растворимые гидрокарбонаты

кальция. Содержание  $C_{орг}$  также крайне низкое. Качество питьевой воды – чаще всего хорошее (если нет антропогенного загрязнения).

Отметим, что проблема глубокой очистки природных вод для населения является одной из приоритетных, получивших поддержку в одном из *национальных проектов Президента Российской Федерации* на период 2006-2015 гг. В этой связи особое внимание следует уделять *не только очистке воды и водоподготовке, но и предупредительным мерам*: улучшить эколого-химический контроль за деятельностью различных производств, предприятий, свалок и очистных сооружений. Например, в Подмосковье более 80% свалок расположены в поймах рек, что недопустимо из-за химического загрязнения пойменных почв и природных вод. Овощная продукция и рыба оказываются опасными для употребления в пищу.



Рис. 8. Кандидат биологических наук А.А. Петухова устанавливает сорбционные лизиметры в профиле почвы на Лесной опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для исследования **биогенной кислотности** сосново-лиственничной фации (фото И.М. Яшина, 2012).

**Лабораторные работы выполняются** в лаборатории агроэкологии ЛАМП, в 6-м учебном корпусе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в кабинете 213. Студенты работают на занятиях по-бригадно в халатах, знакомятся с техникой безопасности и охраной труда, правилами проведения опытов в химических лабораториях. Затем расписываются в тетради по технике безопасности. Выносить из лаборатории **любые химические реактивы строго запрещается**. Не рекомендуется отдавать для прочтения Рабочие тетради другим преподавателям без согласования с руководством каф. Экологии. *Не разрешается также принимать пищу и пить воду на рабочем месте*. К концу семестра записи в практикуме по МЭИ должны быть правильно и аккуратно оформлены. Каждое задание принимается преподавателем. Пропуски отрабатываются в установленные дни.

## **Экзаменационные вопросы по курсу «Методы экологических исследований»**

### **БЛОК «Полевые методы экологических исследований»**

1. Особенности картографических материалов, используемых при картировании почвенного покрова и ландшафтов.
2. Основные принципы ландшафтного дешифрирования.
3. Методика построения ландшафтного профиля.
4. Методика построения гипсометрического и геоморфологического профилей.
5. Основные принципы детального и крупномасштабного картирования почв.
6. Условные обозначения, используемые при подготовке легенды почвенно-агрохимической, ландшафтной и экологической карт.
7. Основные этапы почвенно-экологического картирования. Рекогносцировка.
8. Характеристика опорных, основных, картировочных, специальных и точек наблюдений при ландшафтной съемке.
9. Параметры оценки наземного растительного покрова. Метод экологических шкал.
10. Написать с помощью индексов морфологию подзола иллювиально-железистого песчаного, развитого на двучленах.
11. Написать с помощью индексов морфологию дерново-подзолистой супесчаной почвы, развитой на двучленах.
12. Краткая эколого-геохимическая характеристика почвообразующих пород таежной зоны.
13. Ключевой и маршрутный методы изучения почвенного покрова и ландшафта.
14. Типы и методы оценки почвенно-геохимических барьеров таежной зоны.
15. Методы оценки комплексных почвенно-геохимических барьеров: градиент барьера миграции.
16. Метод расчета времени обновления конституционных форм гумуса в дерново-подзолистой почве (использовать сведения о методе сорбционных лизиметров, а также собственные данные для расчета соответствующих величин).
17. Метод расчета параметра «интенсивность водной миграции химического элемента». Привести пример расчета величины  $R_x$  для Сорг ВОВ подзола песчаного.
18. Стационарный метод исследования почв и экосистем.
19. Методы оценки растительных континуумов: метод ординации и метод градиентного анализа.

20. Характеристика «бесплощадных» экологических методов исследования фаций.

21. Методы полигонов, плансект, укусов и фитомеров.

22. Дистанционные методы зондирования почвенного покрова и ландшафтов.

**БЛОК «Специальные методы экологических исследований МЭИ»**

23. Критерии оценки БИКа: зольность растений, биомасса, структура биомассы и т.д.

24. Методы учета первичной продукции экосистемы.

25. Методы оценки интенсивности трансформации в почве растительных остатков.

26. Методы учета корневых выделений растений.

27. Какие критерии характеризуют БИК?

28. Что такое период и скорость биогенного круговорота веществ?

29. Метод расчета  $k_{\text{нак}}$  и Пк.

30. Метод биоиндикации в таежных экосистемах.

31. Основные типы лизиметрических устройств; плоские лизиметры Шиловой.

32. Вакуумные лизиметры: конструкция, принцип действия и недостатки.

33. Лизиметр компенсационного типа.

34. Метод сорбционных лизиметров: конструкции, принцип действия, достоинства и недостатки.

35. Характеристика основных видов сорбентов, используемых в сорбционных лизиметрах.

36. Этапы подготовки сорбционных лизиметров к полевым опытам и методика их установки в профиль почвы.

37. Методы диагностики сорбированных поглотителями веществ и расчет параметров водной миграции химических элементов.

38. Приведите пример расчета величины масштаба миграции Сорг ВОВ в подзолистой почве: сорбент – активированный уголь.

39. Метод расчета ориентировочной массы мигранта из почвенного горизонта.

40. Метод оценки средней линейной скорости мигранта в почвенном горизонте.

41. Концепция «абиогенного поля» миграции веществ в ландшафте.

42. Методология изучения абиогенных потоков веществ в почвенном покрове.

43. Метод расчета коэффициента интенсивности водной миграции химического элемента в ландшафте.

44. Водобалансовые типы лизиметров: конструкции, принцип действия, достоинства и недостатки.

45. Для каких целей используют лизиметры-испарители ГГИ-500?

46. Схема тензиометра и принцип его действия.

47. Метод учета эвапотранспирации воды в экосистеме.
48. Назовите основные химические компоненты, определяющие состав и свойства лизиметрических вод тайги и степей.
49. Методология подготовки и стадии диагностики веществ лизиметрических вод, полученных с помощью «плоских» лизиметров.
50. Методы выделения групп веществ, различающихся по агрегатному состоянию и формам миграции - тонкодисперсные взвеси, коллоиды, ионы и молекулы сложных химических соединений.
51. Какие реагенты широко используются для экстракции, например тяжелых металлов, из лизиметрических вод?
52. Метод W. Forsyth : принцип, аналитическое оформление и применение. В чем особенности модификации данного метода И.М.Яшиным?
53. Для каких целей используется в сорбционных лизиметрах метод W.Forsyth в модификации И.М.Яшина?
54. Какие методы следует использовать при оценке форм миграции химических элементов в таежных ландшафтах?
55. Для оценки величин водной миграции химических элементов в почвах и ландшафтах используют следующие параметры: масштаб миграции (по Кауричеву), абиогенное «поле миграции» (по Яшину), коэффициент миграции (по Перельману). Объясните их сущность и правила расчета.

#### **БЛОК «Лабораторные методы экологических исследований»**

56. Методы экспериментального моделирования процессов почвообразования: оглеения, оподзоливания и лессиважа.
57. Моделирование сорбционно-десорбционных взаимодействий мобильных органических лигандов с гумусовыми соединениями почв тайги (с. 367).
58. Экологические функции низкомолекулярных органических кислот в таежных экосистемах.
59. Унификация методов моделирования в ландшафтах (с.382-390).
60. Математическое моделирование процесса трансформации растительного опада в почвах.
61. Методы изучения продуктов деградации почв агроландшафтов (с. 393).
62. Какую информацию можно получить с помощью ИК-спектроскопии при оценке гумусового состояния почв?
63. Прокомментируйте известные Вам экологические ситуации, в которых органические и минеральные кислоты оказывают деградиционное воздействие на молекулярные структуры гумусовых веществ почвы.
64. Могут ли оказывать негативное воздействие на гумусовые вещества почвы водные растворы минеральных удобрений ( являющихся электролитами).

65. Назовите основные критерии диагностики гумусового состояния почв.
66. Методы диагностики коэффициентов гумификации и минерализации (биодеградации) органических веществ растительных остатков в почве (с. 139).
67. Методы оценки баланса ВОВ в подзолистой почве (с. 144-145).
68. Методы расчета и физический смысл коэффициента гумификации (с. 149).
69. Экологическое значение процесса минерализации компонентов ВОВ для таежной биоты.
70. Методика оценки коэффициента мобилизации ВОВ из опада в раствор (с. 154-157).
71. Объясните, каким методом можно оценить и рассчитать абсолютный масштаб миграции ВОВ с кислотными свойствами в подзолистых почвах тайги?
72. Охарактеризуйте основные гипотезы формирования молекулярных структур гумусовых соединений почв (с. 135).
73. Какую роль играют процессы гумусообразования в почвах таежной зоны при трансформации продуктов антропогенеза - пыли, сажи, аэрозолей?
74. Аналитические методы оценки мигрантов и формы миграции веществ в ландшафтах (с. 159-160).
75. Методы определения микроэлементов (с. 164-165).
76. Методы определения тяжелых металлов (с. 166-168).
77. Какую роль играют почвенно-геохимические барьеры в функционировании почв и ландшафтов?
78. С какими процессами связано формирование почвенно-геохимических барьеров?
79. Методы диализа, центрифугирования и вымораживания веществ лизиметрических вод.
80. Фотометрический метод анализа: принцип, достоинства и недостатки.
81. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии: принцип, особенности и недостатки.
82. Сущность методов добавок, эталонной шкалы и градуировочного графика?
83. Виды хроматографического анализа: их оформление и применение в почвоведении и экологии.
84. Что такое коэффициент распределения веществ в хроматографической колонке?
85. Типы сорбентов, используемых в хроматографии.
86. Характеристика вытеснительного, элюентного и фронтального видов хроматографии.

87. Типы изотерм сорбции веществ на сорбентах: их математическая интерпретация, анализ и применение.
88. Метод потенциометрии в экологических исследованиях.
101. Методы поляриметрии.
89. Нефелометрический метод.
90. Флуоресцентный (люминесцентный) метод.
91. Методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).
92. Метод электронной микроскопии агрономических объектов.
93. Метод калибровочного графика (112).
94. Точность, чувствительность и избирательность метода физико-химического анализа.
95. Стандартные образцы и типичные ошибки в химическом анализе (с.114).
96. Особенности математической обработки результатов химических анализов (с.118).
97. Классы точности аналитических методов анализа (с.121).

### **Библиографический список**

1. Грандберг И.И. Лабораторный практикум по органической химии. М.: Высшая школа. 1994.
2. Кауричев И.С., Яшин И.М., Кашанский А.Д. Применение метода лизиметрических хроматографических колонок в почвенных исследованиях// Методы стационарного изучения почв. М.: Наука. 1977. Том 2. С. 167-198.
3. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: МСХА. 1996. 144 с.
4. Посыпайко В.И., Козырева Н.А., Логачева Ю.П. Химические методы анализа. М.: Высшая школа. 1989. 448 с.
5. Роуэлл Д.Л. Почвоведение: методы и использование. Пер. с англ. М.: Колос. 1998. 486 с.
6. Яшин И.М., Кауричев И.С., Черников В.А. Экологические аспекты гумусообразования// Известия ТСХА. 1996. Вып. 2. С. 110-129.
7. Яшин И.М., Кашанский А.Д. Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России. М.: 2-е изд. РГАУ-МСХА, 2015. – 202 с.
8. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Ландшафтоведение: лабораторный практикум. М.: МСХА. 2004. 70 с.
9. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. М.: МСХА. 2000. 560 с.
10. Яшин И.М., Васенев И.И., Раскатов В.А. Методы экологических исследований. М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 183 с.

*Учебное издание*

**Яшин Иван Михайлович,  
Васенев Иван Иванович,  
Поветкин Владимир Анатольевич,  
Атенбеков Рамиз Ажибекович**

**ПРАКТИКУМ ПО  
МЕТОДАМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Редакция и  
корректурa авторов

**Перепечатка и использование материалов практикума только  
с разрешения научного редактора**

Подписано в печать 2016 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
Усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ .

---

Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева  
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44  
Тел.: 7(499)977-00-12; 977-26-90; 977-40-64