

# ІІТМО

---

**Н.Р. МОЛОДКИНА, М.С. ГЛАДЫШЕВА**

## **ОСНОВЫ ЭКОМОНИТОРИНГА**



**Санкт-Петербург  
2026**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Н.Р. Молодкина, М.С. Гладышева**  
**ОСНОВЫ ЭКОМОНИТОРИНГА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов образо-  
вательной программы «Экотехнологии и устойчивое развитие» специальности  
05.03.06 Экология и природопользование

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2026

Молодкина Н.Р., Гладышева М.С., Основы экомониторинга – СПб: Университет ИТМО, 2026. – 48 с.

Рецензент(ы):

Сергиенко Ольга Ивановна, кандидат технических наук, доцент, руководитель образовательной программы «Индустриальная экология», Университета ИТМО.

Учебно-методическое пособие посвящено вопросам практического освоения методов экологического мониторинга компонентов природной среды. Рассмотрены базовые методики отбора проб и анализа объектов окружающей среды на содержание приоритетных загрязняющих веществ.

Пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению 05.04.06 Экология и природопользование.

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, sans-serif font. The letter 'I' has a small dot above it, and the 'O' has a small dot to its right, resembling a stylized 'IO' or 'ITMO'.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнесподходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента. ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга.

По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2026

© Молодкина Н.Р., Гладышева М.С., 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. ПРАВИЛА ПРОБООТБОРА.....</b>	<b>8</b>
1.1. Отбор проб воздуха .....	9
1.2. Отбор пробы воды .....	10
1.3. Отбор проб почв .....	12
1.4. Пробоподготовка почвы .....	13
1.5. Подготовка проб почвы к анализу .....	14
<b>ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЫ, ВОДЫ И ВОЗДУХА .....</b>	<b>16</b>
2.1. Лабораторная работа № 1. Определение рН вытяжки почвы .....	16
2.2. Лабораторная работа № 2. Определение валового содержания тяжелых металлов в почве .....	19
2.3. Лабораторная работа № 3. Определение нефтепродуктов в почве .....	23
2.4. Лабораторная работа № 4. Определение жесткости воды по ГОСТ 31954 - 2012 .....	28
2.5. Лабораторная работа № 5. Измерение рН в водах потенциометрическим методом .....	31
2.6. Лабораторная работа № 6. Содержание нефтепродуктов в воде .....	34
2.7. Лабораторная работа № 7. Концентрация взвешенных веществ в атмосферном воздухе .....	37
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>45</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития человечества характеризуется переходом биосферы в новое качественное состояние – ноосферу, где разумная деятельность человека становится определяющим фактором планетарного масштаба. Однако этот переход сопровождается глубоким экологическим кризисом, вызванным несоответствием темпов развития производительных сил ресурсно-экологическим возможностям планеты. В этих условиях разработка механизмов рационального управления качеством среды обитания невозможна без адекватной оценки состояния природной среды и прогноза ее изменений под действием антропогенных факторов. Именно эту роль выполняет экологический мониторинг – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды.

Актуальность мониторинга обусловлена прогрессирующим поступлением в биосферу антропогенных загрязнений, многие из которых обладают высокой токсичностью и генетической активностью. Данные за 2023 год показывают, что в 200 городах России (81 % городов, где проводятся регулярные наблюдения) средние за год концентрации хотя бы одного загрязняющего вещества превышают гигиенические нормативы. В этих городах проживает более 73 миллионов человек, подвергающихся хроническому воздействию вредных примесей.

Мониторинг является неотъемлемым звеном инженерно-экологического обеспечения техносферной безопасности. Он позволяет не только фиксировать степень загрязнения объектов, но и устанавливать источники воздействия, локализовать их и оценивать эффективность природоохранных мероприятий. Без оперативной и достоверной мониторинговой информации невозможно принятие управленческих решений в области охраны природы и обеспечения экологической безопасности как на локальном, так и на федеральном уровнях.

Основной целью экологического мониторинга является обеспечение органов управления и населения информацией, позволяющей оценивать показатели состояния экосистем и среды обитания человека. Система должна реализовывать функции наблюдения, диагностики и раннего предупреждения о негативных ситуациях до того, как будет нанесен невосполнимый ущерб.

К ключевым задачам мониторинга относятся:

- наблюдение за источниками и факторами антропогенного воздействия;
- оценка фактического состояния природной среды и выявление изменений, обусловленных деятельностью человека;
- прогноз состояния биосферы и оценка прогнозируемого состояния под влиянием различных сценариев воздействия;
- обеспечение достоверности, полноты и сопоставимости данных измерений через единую государственную систему;
- информационное обеспечение государственного управления и населения сведениями о проблемах экологической безопасности.

Атмосферный воздух является наиболее динамичной средой, в которой концентрации примесей быстро меняются во времени и пространстве. Загрязняющие вещества в атмосфере подвергаются трансформации под действием солнечной радиации и метеорологических условий, переносясь на значительные расстояния.

Оценка качества воздуха осложняется изменением нормативов. Введение в 2021 году СанПиН 1.2.3685-21 с более жесткими среднегодовыми ПДК (ПДКс.г.) существенно изменило статистическую картину, увеличив количество городов, относимых к зонам высокого загрязнения. Приоритетными загрязнителями для городов РФ остаются формальдегид (превышение ПДК в 146 городах), взвешенные вещества (в 105 городах), диоксид азота и бенз(а)пирен. Острой проблемой является мониторинг взвешенных частиц фракций РМ10 и РМ2.5, которые способны проникать глубоко в легкие и вызывать сердечно-сосудистые заболевания.

Контроль атмосферы направлен на выявление высоких и экстремально высоких уровней загрязнения, а также на решение вопросов трансграничного переноса. Важной целью является актуализация «паспортов» городов и предприятий для установления нормативов допустимых выбросов (НДВ).

Вода – важнейший ресурс, состояние которого напрямую определяет здоровье населения. В рамках Общегосударственной службы наблюдений (ОГСНК) мониторинг поверхностных вод ведется на нескольких уровнях, от станций наблюдения до Гидрометцентра.

Основная сложность при анализе вод заключается в необходимости учета как растворенных, так и сорбированных на взвесах веществ, что требует разных подходов к фильтрации проб. Важнейшими показателями антропогенной нагрузки являются БПК (биохимическое потребление кислорода) и ХПК (химическое потребление кислорода), которые позволяют оценить общее содержание органических загрязнителей в сточных и природных водах. Также серьезную проблему представляет вторичное загрязнение воды из донных отложений, накопленных за десятилетия промышленной деятельности.

Главная цель мониторинга воды – систематическое получение данных о качестве воды для обеспечения хозяйственных органов прогнозами изменения гидрохимического режима. Мониторинг должен оповещать о серьезных нарушениях состояния водных объектов и напоминать правительствам о необходимости восстановительных мероприятий.

Почва является уникальной открытой системой, выступающей в роли природного накопителя загрязняющих веществ, особенно тяжелых металлов (ТМ). Связь между компонентами почвы настолько прочна, что малейшие изменения одного из них неизбежно вызывают изменения всей системы.

Главная проблема экологической оценки почв заключается в том, что валовое содержание загрязнителей менее информативно, чем содержание их подвижных форм. Растения могут не проявлять признаков угнетения при высоком общем содержании металла, если он находится в связанном состоянии, однако изменение

кислотности (рН) может резко перевести его в доступную форму, создав прямую опасность для биоты и человека. Кроме того, ПДК для почв часто слабо научно обоснованы и не учитывают региональные особенности конкретных экосистем.

Несмотря на развитую структуру мониторинга в РФ, сохраняется ряд проблем системного характера. Одной из наиболее острых является отсутствие полноценного обмена информацией между различными ведомствами (МПП, Росгидромет, Роспотребнадзор), что ведет к дублированию усилий и снижает общую эффективность системы. Существующая практика санитарно-гигиенического нормирования часто базируется на принципе антропоцентризма («защищен человек – защищена экосистема»), который не всегда верен, так как человек не является самым чувствительным биологическим видом.

Кроме того, выбросы современных предприятий многокомпонентны, что делает практически невозможным оперирование нормативами для отдельных веществ без учета эффектов суммации и синергизма. Это определяет острую потребность в переходе от чисто химического анализа к методам биоиндикации и биотестирования, способным фиксировать интегральный отклик живых систем на весь комплекс загрязнений.

Таким образом, экологический мониторинг сегодня перерастает рамки простого наблюдения и становится фундаментальной научной и управленческой дисциплиной, призванной обеспечить выживание человечества в условиях глобальных изменений биосферы. Данное учебное пособие направлено на освоение теоретических основ и практических методов этой жизненно важной системы.

В пособии рассматриваются вопросы практического освоения методов экологического мониторинга компонентов природной среды. Рассмотрены базовые методики отбора проб и анализа объектов окружающей среды на содержание приоритетных загрязняющих веществ. Приводятся методические рекомендации для выполнения лабораторных работ по определению концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов в пробах воды и почвы, а также исследованию уровня запыленности воздуха.

Пособие предназначено для обеспечения усвоения студентами учебного материала и выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы экомониторинга», обучающихся по направлению 05.04.06 «Экология и природопользование».

## Глава 1. ПРАВИЛА ПРОБООТБОРА

Пробоотбор является фундаментальным начальным этапом химико-аналитического контроля в системе экологического мониторинга, определяющим достоверность всей последующей информации о состоянии окружающей среды. Правильность проведения этой процедуры критически важна, так как даже самые совершенные лабораторные методы не способны компенсировать ошибки, допущенные на стадии взятия образца. Основным требованием к любой пробе является ее представительность (репрезентативность), что подразумевает точное соответствие состава и свойств образца характеристикам исследуемого объекта в данной точке пространства и в конкретный момент времени.

Процесс пробоотбора не является изолированным действием, а выступает частью комплексной программы мониторинга, которая включает в себя планирование сети наблюдений, выбор контролируемых показателей и установление периодичности контроля. Выбор мест отбора проб должен основываться на ландшафтной съемке местности и четкой привязке к элементам рельефа, а также учитывать антропогенные факторы и метеорологические условия, такие как направление ветра и температурные инверсии. В зависимости от целей исследования пробы подразделяются на точечные (разовые), характеризующие мгновенное состояние объекта, и смешанные (генеральные), позволяющие оценить средние показатели за определенный промежуток времени или по площади.

Методология отбора варьируется в зависимости от типа исследуемой среды:

Для атмосферного воздуха преобладает аспирационный метод, требующий учета высоты отбора (от 1,5 до 3,5 м) и метеорологических параметров в момент исследования.

При анализе водных объектов ключевое значение имеет выделение створов, вертикалей и горизонтов, а также предотвращение изменений в пробе при транспортировке через использование консервации.

Исследование почв требует учета их гетерогенности и стабильности состава во времени, что определяет необходимость использования специальных методов, таких как метод «конверта» или заложение почвенных разрезов.

Важнейшим условием качества данных является строгое соблюдение регламентов, исключающих вторичное загрязнение проб от инструментов, тары или атмосферных осадков. Все процедуры должны проводиться с использованием аттестованного оборудования и в строгом соответствии с государственными стандартами (ГОСТ) и природоохранными нормативами. Завершающим этапом полевой стадии является обязательное документальное оформление результатов в виде акта отбора проб, который фиксирует условия, место и цели взятия материала для обеспечения юридической и научной достоверности анализа.

## 1.1. Отбор проб воздуха

Уровень содержания токсичных примесей в атмосфере является результатом взаимодействия антропогенных выбросов и комплекса природных условий. На итоговую концентрацию веществ влияют не только характеристики самих источников (высота труб, объемы газов), но и метеорологические параметры, способствующие рассеиванию или накоплению загрязнений. К наиболее значимым факторам относятся скорость и направление перемещения воздушных масс (роза ветров), наличие температурных инверсий, показатели влажности и атмосферного давления. Кроме того, существенную роль играет рельеф местности, который может способствовать застою воздуха, особенно в условиях горно-котловинного ландшафта.

**Критерии выбора точек наблюдения.** При планировании сети мониторинга необходимо учитывать пространственное распределение промышленных площадок и интенсивность движения автотранспорта. Посты следует размещать с учетом векторов переноса примесей. Особое внимание уделяется зонам, где наиболее вероятно появление максимальных приземных концентраций, что часто фиксируется на расстоянии от 10 до 40 высот труб промышленных источников.

**Методы и техника пробоотбора.** Основным способом получения информации о составе воздуха является **аспирация** – принудительное прокачивание определенного объема атмосферного воздуха через улавливающие устройства. В зависимости от агрегатного состояния загрязнителя применяются различные системы:

- для газообразных и парообразных соединений: используются поглотительные приборы с жидкими средами (растворы солей, кислот или щелочей), которые обеспечивают растворение или химическое связывание аналита. Также применяются твердые адсорбенты, среди которых наиболее распространены силикагель, активированный уголь и цеолиты;

- для аэрозолей (пыль, дым, туман): используются специальные фильтрующие материалы. Наибольшую эффективность показывают отечественные волокнистые полимеры, в которых частицы задерживаются не только механически, но и за счет сил молекулярного взаимодействия при контакте с поверхностью ультратонких волокон.

Эффективность анализа напрямую коррелирует с чувствительностью выбранной методики и объемом пропущенного воздуха, который должен строго соответствовать регламенту для обеспечения достоверности результатов.

**Нормативно-технические регламенты (ГОСТ 17.2.3.01-86).** Процедура пробоотбора жестко регламентирована государственными стандартами для обеспечения сопоставимости данных:

1. **Длительность отбора:** для определения разовых (максимальных) концентраций процедура занимает от 20 до 30 минут. Оценка среднего содержания веществ за сутки требует либо дискретных замеров по полной программе, либо непрерывной аспирации в течение 24 часов.

2. **Высота размещения воздухозаборника:** для анализа приземного слоя атмосферы отбор проводится в диапазоне от 1,5 до 3,5 метров от уровня поверхности земли.

3. **Документирование:** каждая процедура должна сопровождаться фиксацией метеорологических условий в момент отбора и завершаться составлением официального акта, гарантирующего репрезентативность пробы.

## 1.2. Отбор пробы воды

Мониторинг состояния водных объектов производится в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82. Данный стандарт устанавливает правила контроля качества воды водоемов и водотоков, включая устьевые участки рек, по физическим, химическим и гидробиологическим показателям.

Для наблюдения за состоянием водных объектов организовываются пункты контроля качества, подразделяемые на 4 категории.

Каждый пункт наблюдения включает один или несколько створов – условных поперечных площадей водного объекта, где собираются данные. В пределах створа выделяются вертикали (линии от поверхности до дна) и горизонты (глубины, на которых проводятся измерения).

Под створом пункта наблюдений следует понимать условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Створы наблюдений размещаются с учетом гидрометеорологических условий и морфологических особенностей водоема или водотока, расположения источников загрязнения, объема и состава сбрасываемых сточных вод и интересов водопользователей.

При контроле по водоему в целом устанавливают не менее трех створов, по возможности равномерно распределенных по его акватории с учетом строения береговой линии. При контроле по отдельным участкам водоема створы располагают следующим образом:

- на водоемах с интенсивным водообменом (выше 5,0 усл. ед.) один створ – выше источника загрязнения, вне зоны его влияния, остальные створы (не менее двух) – ниже источника загрязнения или последнего по течению из группы источников загрязнения на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности;

- на водоемах с умеренным (от 0,1 – 5,0) и замедленным (до 0,1) водообменом по один створ – вне зоны влияния источника или группы источников загрязнения, другой створ совмещают со створом сброса сточных вод, остальные створы (не менее двух) располагают параллельно ему по обе стороны на расстоянии 0,5 км от места сброса и непосредственно за границей зоны загрязненности. Каждый створ делится на вертикали и горизонты [4].

**Классификация проб по способу сбора.** В системе гидрохимического мониторинга выделяют **разовые (простые)** и **смешанные (объединенные)** образцы.

**Разовые пробы** получают путем единовременного забора необходимого объема воды в фиксированной точке. Такие образцы позволяют получить «мгновенный снимок» химического состава объекта, актуальный только для конкретного места и времени исследования.

**Смешанные пробы** формируются путем объединения нескольких разовых порций, отобранных либо в различных участках акватории (пространственное усреднение), либо в одной точке через заданные промежутки времени (временное усреднение). Этот подход позволяет охарактеризовать интегральные (средние) показатели водного объекта. Однако использование смешанных проб строго ограничено: их **запрещено** применять для анализа нестабильных параметров, подверженных быстрой трансформации, таких как концентрация растворенных газов, мутность, электропроводность или окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

**Нормирование объема и техническое обеспечение.** Количество воды, необходимое для полноценного исследования, рассчитывается исходя из перечня определяемых компонентов, чувствительности измерительных приборов и специфики пробоподготовки. Например, для проведения тройного параллельного определения базовых неорганических и органических показателей (таких как ХПК, содержание общего азота или органического углерода) стандартно требуется от 1,5 до 2 литров воды.

Для сбора материала используют стерильно чистые емкости из химически инертного стекла или полиэтилена объемом 2–3 литра и более, обеспечивая их герметичное закрытие. При необходимости исследования глубоких горизонтов применяются специализированные пробоотборники – батометры.

**Транспортировка, хранение и концентрирование.** После извлечения пробы доставляются в аналитический центр, где их разделяют на аликвоты. Каждую часть подвергают консервации специфическим методом, соответствующим целевому показателю, причем наиболее предпочтительным считается проведение этой процедуры непосредственно в полевых условиях [2].

В случаях, когда концентрация растворенных органических веществ в природных водах ниже предела обнаружения, применяют методы предварительного концентрирования:

- адсорбционное выделение на сорбентах;
- вакуумное выпаривание при низких температурах для предотвращения разрушения органики;
- направленное вымораживание (выделение чистого льда с концентрированием примесей в остатке).

**Влияние фазового распределения на результаты анализа.** Важнейшей особенностью водного мониторинга является учет содержания веществ в растворенном и взвешенном состояниях. Установлено, что показатели в фильтрованных и нефилтрованных образцах могут существенно различаться, что особенно

критично для ионов тяжелых металлов, которые активно сорбируются на коллоидных частицах и взвешях.

Для выделения твердой фазы и подготовки пробы к анализу используют следующие физико-химические процессы:

- гравитационное отстаивание;
- принудительное центрифугирование;
- механическую фильтрацию или мембранную ультрафильтрацию [1].

### 1.3. Отбор проб почв

Почва представляет собой поверхностный слой земной коры, сформировавшийся в результате сложного взаимодействия минеральных соединений, органики, влаги, воздуха и живых организмов. С физико-химической точки зрения она классифицируется как гетерогенная трехфазная система, объединяющая твердые, жидкие и газообразные компоненты. Связь между этими частями настолько прочна, что любые изменения в одной фазе неизбежно ведут к трансформации всей почвенной системы.

Твердый каркас почвы служит основным резервуаром элементов питания для биоты. Его состав представлен преимущественно минеральными структурами (90 % и более), в то время как на долю органического вещества, критически важного для обеспечения плодородия, приходится около 10 % и менее. В элементном составе твердой фазы доминирует связанный кислород (около половины общей массы) и кремний (одна треть). Доля алюминия и железа суммарно превышает 10 %, в то время как на остальные химические элементы приходится порядка 7 %.

**Почвенный поглощающий комплекс (ППК).** Функциональным ядром почвы является почвенный поглощающий комплекс, состоящий из высокодисперсных (коллоидных) минеральных и гумусовых частиц. Благодаря преобладающему отрицательному заряду, ППК обладает способностью удерживать в поглощенном состоянии положительно заряженные ионы (катионы), регулируя тем самым ионный обмен и буферность среды.

Почвенный раствор выступает в роли наиболее лабильной (подвижной) фазы, где протекает основная масса химических реакций. Именно из этой водной среды растения извлекают питательные элементы в наиболее доступной форме.

Почвенный воздух обеспечивает процесс дыхания корневых систем. Его состав специфичен: по сравнению с атмосферным воздухом в нем отмечается повышенное содержание углекислого газа и сниженная концентрация кислорода.

**Особенности химической стабильности и мониторинга.** Ключевым отличием почв и донных отложений от атмосферы и гидросферы является их высокая временная и пространственная устойчивость химического состава. Почва выступает в роли природного аккумулятора загрязняющих веществ, где содержание основных компонентов меняется медленно. Данная инертность системы позволяет оптимизировать программу экологического контроля: для получения достоверных

данных нет необходимости проводить пробоотбор с такой высокой частотой и плотностью, как при анализе воздуха или природных вод [1].

Для изучения и определения почв, установления ареалов их распространения закладываются специальные ямы, которые принято называть почвенными разрезами. Разрез вскрывает почвенную толщу, включая верхнюю часть неизменной или малоизмененной материнской породы. Глубина его варьирует от 1,5 до 5 метров, ширина – 80 см, длина 150 см. Он служит для изучения морфолого-генетических признаков почв, взятия образцов по генетическим горизонтам для физико-химических анализов.

Для отбора и хранения проб используют стеклянные (пластиковые) емкости или полиэтиленовые пакеты.

Почвы и грунты отбирают, транспортируют и хранят в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.4.4.02-84 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб», ГОСТ 12071-84 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов», ГОСТ 27753.1-88 «Грунты тепличные. Методы отбора проб».

Необходимым условием отбора проб почв (грунтов) является их предохранение от вторичного загрязнения (в том числе атмосферными осадками) на всех этапах отбора проб.

Пробы почв (грунтов) в воздушно-сухом состоянии хранят в закрытой таре из химически нейтрального материала. Пробы почв (грунтов) не консервируют.

#### **1.4. Пробоподготовка почвы**

**Первичная обработка и очистка образца.** Для анализа используют воздушно-сухой материал массой 600–750 г. Пробу распределяют на листе чистой бумаги для проведения механической очистки: вручную удаляют растительные остатки (корни), включения горной породы (камни) и прочие посторонние фрагменты. Крупные почвенные агрегаты подвергают измельчению в фарфоровой ступке, после чего полученный субстрат тщательно объединяют с основной массой.

**Влияние дегидратации на аналитические показатели.** Подготовка сухих образцов облегчает процесс просеивания и обеспечивает высокую репрезентативность средней пробы. Однако исследователю необходимо учитывать, что процедура высушивания трансформирует физико-химический профиль образца: могут наблюдаться сдвиги значений и гидролитической кислотности, изменение содержания соединений закисного железа, а также доступных форм фосфора, азота и других нутриентов.

**Метод усреднения (квартование).** С целью сокращения объема материала при сохранении его представительности применяют **метод квартования**. Перемешанную пробу распределяют ровным квадратом и разделяют шпателем

по диагоналям на четыре равных сектора. Два противоположных сегмента объединяют для формирования аналитической пробы, в то время как оставшуюся часть помещают в закрытую тару и сохраняют в качестве контрольного (арбитражного) образца для возможных повторных исследований.

**Дифференцированный ситовой анализ.** Степень измельчения пробы определяется задачами исследования:

**Для валового элементного анализа:** пробу доводят до однородного состояния, просеивая через сито с диаметром отверстий **0,25 мм**. Крупные частицы, задержанные сеткой, подвергают дополнительному истиранию в ступке до полного прохождения через ячейки.

**Правило «осаждения пыли»:** при использовании почвенных сит необходимо работать с закрытой крышкой и открывать ее только спустя 2 – 3 минуты после завершения операции. Это позволяет мелким пылеватым частицам, являющимся наиболее химически активной частью почвы, полностью осесть в приемник.

**Для приготовления почвенных вытяжек:** достаточным считается просеивание через сито с размером отверстий 1 мм.

**Формирование лабораторной навески** Завершающим этапом подготовки является отбор аналитической навески массой 5–6 г. Просеянный материал распределяют на бумаге тонким слоем (приблизительно 0,5 см) и разделяют шпателем на малые квадраты. Из каждого квадрата (или в шахматном порядке через один) отбирают небольшие порции грунта, которые затем окончательно перемешивают для получения максимально гомогенного образца, готового к химическому анализу.

## 1.5. Подготовка проб почвы к анализу

Воздушносухую почву или донные отложения массой 600 – 750 г размещают на чистой бумаге и удаляют корни растений, камни и другие включения. Большие грудки почвы растирают в фарфоровой ступке и перемешивают с основной массой.

Воздушносухие образцы можно легко просеять через специальные сита при подготовке пробы к анализу. Сухие образцы можно также хорошо перемешать с целью отбора средней пробы. Однако необходимо учитывать, что при высушивании меняется рН, гидролитическая кислотность, содержание закисного железа и доступных для растений соединений азота, фосфора и т.д. [10]

Среднюю пробу готовят к анализу способом квартования. Для этого тщательно перемешивают пробу, размещают на чистой бумаге в виде квадрата и шпателем делят по диагонали на 4 равные части. Две противоположные части объединяют и из них отбирают пробы для анализа, а др. две высыпают в коробку, закрывают и сберегают для повторных возможных анализов.

Для получения однородных образцов, среднюю пробу перед анализом просеивают сквозь сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

Частицы, оставшиеся на сите, растирают в ступке и вновь просеивают. Просеивание через почвенные сита необходимо проводить с закрытой крышкой и открывать ее не раньше, чем через 2 – 3 мин. после завершения просеивания, для осаждения пыли, и чтобы не потерять наиболее активную часть почв.

Такую подготовку средней пробы выполняют для проведения валового анализа. При подготовке почв или донных отложений для получения вытяжки достаточно просеять пробу через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для отбора лабораторной пробы просеянную среднюю пробу размешивают на листе чистой бумаги, перемешивают и раскладывают слоем толщиной ~ 0,5 см. Потом делят шпателем на маленькие квадраты и отбирают ложкой или шпателем из каждого квадрата или через один небольшую порцию образца и тщательно перемешивают. Для анализа необходимо отобрать 5–6 г мелко растертой и хорошо перемешанной пробы [11].

## ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЫ, ВОДЫ И ВОЗДУХА

### 2.1. Лабораторная работа № 1. Определение рН солевой и водной вытяжки почвы

Распределение рН почвы на обширной географической территории определяется различными факторами окружающей среды, наблюдаемыми на поверхности земли. В частности, буферная система в почвенном растворе, определяющая динамику рН почвы в зависимости от поступления и оттока ионов, в значительной степени контролируется водным балансом (ВБ) в глобальном масштабе. В относительно засушливых регионах рН почвы обычно буферизуется карбонатами. С увеличением положительного ВБ буферная система почвы постепенно переходит к основным катионам и ионам алюминия. Различные типы почв с разными материнскими породами также могут играть важную роль в изменении буферных систем почвы и приводить к различным значениям рН. Кроме того, температура также способна регулировать рН почвы, влияя на образование и потребление ионов водорода. Например, наблюдали отрицательную корреляцию рН почвы с температурой, что, по их мнению, может быть вызвано повышенным накоплением органических веществ в почве и увеличением поступления органических кислот при повышении температуры. Наряду с климатом, растения также играют важную роль в регулировании рН почвы. В частности, растения влияют на шероховатость поверхности и, следовательно, на поглощение питательных веществ и выщелачивание ионов. Кроме того, растения регулируют рН почвы посредством поглощения обменных катионов, изменения качества и количества поступающей подстилки и процессов в ризосфере. Несмотря на многочисленные исследования, широко изучавшие влияние окружающей среды на рН почвы в различных регионах с помощью полевых исследований и метаанализа, а также эмпирических и механистических подходов, нам по-прежнему не хватает всестороннего понимания, количественно оценивающего взаимосвязь между пространственным распределением рН почвы и его влиянием окружающей среды и буферными системами. Это понимание в основном обусловлено тем, что многие факторы окружающей среды могут влиять на рН почвы как по отдельности, так и в совокупности; и сила влияния этих факторов может быть специфичной для конкретной экосистемы и буферной системы.

Помимо природных факторов окружающей среды, которые могли повлиять на рН почвы и ее пространственное распределение, в современную антропогенную эпоху все более важную роль в формировании рН почвы играет деятельность человека. В частности, интенсивное осаждение азота известно как основная причина закисления почвы), что стало глобальной экологической проблемой. Помимо прямого поступления кислоты, осаждение азота может влиять на рН почвы, усиливая вымывание основных катионов, повреждая буферные системы почвы и влияя на другие химические процессы в почве. Кроме того, различные формы азота

(нитратный азот ( $\text{NO}_y$ ) и аммонийный азот ( $\text{NH}_x$ )) могут по-разному влиять на химические реакции в почве. Почвы разных регионов могут иметь различную чувствительность к одному и тому же количеству азота. Например, регионы с преобладанием карбонатов менее чувствительны к азоту из-за высокой буферной способности. Более того, различные типы растений также могут влиять на реакцию рН почвы на азот из-за различных траекторий реакции растений на азот и регулирования рН почвы. Тем не менее, мы недостаточно хорошо понимаем, как антропогенное осаждение азота, особенно в сочетании с климатическими и растительными факторами, влияет на рН почвы и соответствующие буферные системы.

**Понятие и виды кислотности.** Кислотность почвы определяется присутствием ионов водорода в ее жидкой фазе (почвенном растворе) и в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК). В аналитической практике и экологическом мониторинге принято выделять две основные формы: **актуальную** и **потенциальную (скрытую)** кислотность.

**Актуальная кислотность и водородный показатель.** Данная форма кислотности обусловлена концентрацией свободных ионов непосредственно в почвенном растворе. Для ее количественной оценки используют водную вытяжку, а результат выражают через величину (отрицательный логарифм концентрации ионов водорода).

- нейтральная среда: характеризуется равным содержанием ионов;
- кислая среда: формируется при дефиците нейтрализующих соединений за счет диссоциации угольной и других водорастворимых кислот, а также гидролитически кислых солей;
- щелочная среда: характерна для почв, насыщенных основаниями (кальцием, магнием, натрием) или карбонатами, которые эффективно нейтрализуют кислоты.

**Диапазоны для различных типов почв.** Реакция водной вытяжки существенно варьируется в зависимости от генезиса почвы:

- сильнокислая (3,0 – 5,0): сфагновые торфа, подзолистые и дерново-подзолистые почвы;
- слабокислая (5,5 – 6,5): серые лесные почвы и выщелоченные черноземы;
- близкая к нейтральной (6,5 – 7,0): типичные и мощные черноземы;
- щелочная и сильнощелочная (7,5 – 10,0): южные черноземы, каштановые почвы, сероземы и солонцы.

**Потенциальная кислотность: обменная и гидролитическая.** Скрытая кислотность находится в динамическом равновесии с актуальной и подразделяется на обменную и гидролитическую. Обменная кислотность связана с ионами и, которые прочно удерживаются ППК, но способны вытесняться в раствор при контакте с нейтральными солями. При использовании раствора (солевая вытяжка)

ионы водорода и алюминия переходят в жидкую фазу, образуя соляную кислоту и хлористый алюминий, что приводит к подкислению среды.

**Аналитическое и практическое значение.** Показатель солевой вытяжки обычно ниже, чем водной, так как он суммирует актуальную и обменную формы кислотности. Обменная кислотность наиболее выражена в красноземах, дерново - подзолистых и оподзоленных почвах. Переход алюминия в раствор при активации скрытой кислотности оказывает крайне токсичное воздействие на корневые системы растений. Именно данные солевой вытяжки являются базовыми для оценки степени кислотности и расчета норм известкования при проведении мелиоративных работ.

**Цель работы:** Освоение потенциметрического метода определения актуальной и обменной кислотности почвы для оценки ее экологического состояния.

**Сущность метода.** Потенциметрическое определение основано на измерении электродвижущей силы (ЭДС) в цепи, состоящей из индикаторного электрода и электрода сравнения, погруженных в исследуемую суспензию. Значение рН солевой вытяжки обычно ниже, чем водной, так как в ней учитывается и обменная кислотность.

### Нормативные требования

Результаты анализа сравниваются с общепринятой классификацией реакций почв (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика реакции почвы

Значение рН	Характеристика реакции почвы
< 4,5	Сильнокислая
4,6 – 5,5	Кислая
5,6 – 6,5	Слабокислая
6,6 – 7,0	Нейтральная
7,1 – 7,5	Слабощелочная
7,6 – 8,5	Щелочная
> 8,5	Сильнощелочная

Результаты  $pH_{\text{сол}}$  используются для определения степени нуждаемости почвы в известковании.

### Оборудование и реактивы

1. Потенциометр (рН-метр) с электродами измерения и сравнения.
2. Электронные весы (точность  $\pm 0,01$  г).
3. Химические стаканы вместимостью 100–150 см<sup>3</sup>.
4. Стеклянные палочки.
5. 1 н. раствор КСl (с рН в пределах 5,5–6,0).
6. Дистиллированная вода.

7. Подготовленная проба почвы (воздушно-сухая, просеянная через сито 1 мм).

### **Порядок выполнения анализа**

1. Взятие навески. На электронных весах взвешивают 20 г воздушно-сухой почвы.

2. Приготовление суспензии. Для водной вытяжки: навеску помещают в стакан и приливают 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Для солевой вытяжки: к навеске 20 г приливают 50 см<sup>3</sup> 1 н. КСl.

3. Экстракция. Содержимое перемешивают стеклянной палочкой в течение 1–2 минут и оставляют отстаиваться на 5 минут.

4. Измерение:

– Перед погружением электродов суспензию перемешивают еще раз.

– Электроды опускают в стакан так, чтобы они были полностью погружены в жидкость.

– Отсчет значения рН проводят через 0,5–1 минуту после стабилизации показаний на дисплее.

### **Обработка результатов и расчеты**

Значение рН считывается непосредственно с прибора. Если измерения проводятся повторно, за результат принимается среднее арифметическое значение.

### **Требования к заключению**

В выводах по работе необходимо:

1. Указать полученные значения рН<sub>водн</sub> и рН<sub>сол</sub>.

2. На основе таблицы классификации определить тип реакции исследуемой почвы (кислая, нейтральная или щелочная).

3. Оценить пригодность почвы для сельскохозяйственных культур и, при необходимости, указать на потребность в мелиорации (известковании).

## **2.2. Лабораторная работа № 2. Определение валового содержания тяжелых металлов в почве**

Тяжелые металлы – это группа химических элементов встречающиеся в природе металлы с атомным номером более 20 и плотностью более 5 г/см<sup>3</sup> (железо, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт и др.), которые существенно влияют на жизнедеятельность растений, животных и человека. Некоторые из них, такие как ртуть, свинец и кадмий, представляют собой чрезвычайную опасность для здоровья даже при низких концентрациях. Согласно гигиенической классификации, к 1-му классу (чрезвычайно опасные) относятся бенз(а)пирен, ртуть и свинец; ко 2-му классу (высокоопасные) – кадмий, медь, никель и др. Последние исследования выделяют несколько потенциально токсичных элементов (ртуть, кадмий, мышьяк

и свинец), практически не поддающихся биологическому разложению и имеющих необратимый накопительный эффект. Скрытый и опасный путь попадания тяжелых металлов в организм человека – пищевая продукция. Тяжелые металлы оказывают пагубное неспецифическое токсическое влияние на большинство растений, приводят к болезням, изменениям проницаемости клеточной мембраны, подавлению роста, изменению кислотности, гибели [12].

Почва является основным природным накопителем ТМ в окружающей среде и главным источником их поступления в сопредельные среды, прежде всего в растения.

### **Формы нахождения тяжелых металлов в почве**

ТМ находятся в почве в виде различных химических соединений, находящихся в состоянии динамического равновесия. Выделяют следующие основные формы:

Валовое (общее) содержание: вся совокупность металла в твердой и жидкой фазах почвы.

Подвижные (лабильные) формы: соединения, способные переходить в почвенный раствор и усваиваться растениями. Именно эти формы характеризуют реальную опасность загрязнения.

Обменные формы: металлы, связанные с почвенным поглощающим комплексом (глинистыми минералами и гумусом).

Водорастворимые формы: наиболее миграционно-активные соединения.

Подвижность ТМ зависит от рН почвы и окислительно-восстановительных условий. Например, в нейтральных почвах подвижны соединения цинка, а в кислых – кадмия. Напротив, свинец образует малоподвижные соединения, накапливаясь в гумусовом горизонте.

### **Нормирование содержания ТМ в почве**

Оценка степени загрязнения проводится путем сравнения результатов измерений с установленными нормативами:

ПДК (предельно допустимая концентрация): максимальное количество вещества, не вызывающее прямого или косвенного негативного воздействия на здоровье человека и среду.

ОДК (ориентировочно допустимая концентрация): временный гигиенический норматив, устанавливаемый расчетным путем на 3 года.

Фоновое содержание: уровень содержания элемента на территориях, не подверженных прямому техногенному воздействию.

Для оценки используется коэффициент контрастности, показывающий кратность превышения ПДК или фона.

При оценке количественных показателей тяжелых металлов в среде, особенно почвах, необходимо учитывать их естественные фоновые концентрации. Повышенные значения связаны с деятельностью человека. Наибольший объем

тяжелых металлов поступает с предприятий черной и цветной металлургии, автомобильного транспорта, электростанций, работающих на сжигаемом топливе.

Почвы являются природными накопителями ТМ в окружающей среде и основным источником загрязнения сопредельных сред, включая высшие растения. ТМ находятся в почве в виде различных химических соединений.

Часть ТМ прочно связана с глинистыми минералами, а обменные формы, связанные как с минералами, так и с органическим веществом, составляют малую часть от общей массы ТМ в профиле почв.

В нейтральных почвах подвижны соединения цинка, которые могут выщелачиваться при сезонном промачивании почв. В кислых почвах с преобладанием окислительных условий (почвы подзолистого ряда, хорошо дренированные) такие тяжелые металлы, как кадмий, образуют легкоподвижные формы. Напротив, свинец образует малоподвижные соединения, способные накапливаться в гумусовых и иллювиальных горизонтах и негативно влиять на состояние почвенной биоты. В нейтральных почвах подвижны соединения цинка и кадмия, они могут задерживаться в гумусовом и иллювиальных горизонтах. По мере возрастания щелочности, опасность загрязнения почв перечисленными элементами увеличивается [13].

**Цель работы:** освоение метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) для количественного определения тяжелых металлов в почве и оценки степени ее загрязнения.

**Сущность метода.** Суть рентгенофлуоресцентного метода заключается в анализе спектра, который получается методом воздействия на материал, который исследуется, рентгеновскими лучами. В нем используется источник первичного рентгеновского излучения – рентгеновская трубка – для облучения анализируемого образца, в результате чего сам образец начинает излучать (флуоресцировать) в рентгеновском диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Излучаемый спектр является характеристическим и однозначно соответствует элементному составу анализируемого образца. Атомы каждого химического элемента имеют свой набор спектральных линий в указанном диапазоне, который характерен только для данного элемента. Поэтому по наличию или отсутствию во вторичном спектре излучения образца конкретных линий (так называемых характеристических линий того или иного элемента) можно судить о наличии или отсутствии данного элемента в составе образца, а по амплитуде (то есть «яркости») соответствующих линий – о количественном содержании (концентрации) данного элемента [14].

Во время облучения атом приобретает возбужденное состояние, которое сопровождается переходом электронов на квантовые уровни более высокого порядка. В таком состоянии атом находится очень мало времени, около 1-й пикосекунды, а после этого возвращается в свое основное состояние (спокойное положение). В это время электроны, находящиеся на внешних оболочках, или заполняют освободившиеся вакантные места, а лишнюю энергию выпускают в виде фотонов, или передают энергию другим электронам, находящимся на внешних оболочках

(они называются ожэ-электронами). В это время каждый атом выделяет фотоэлектрон, энергия которого имеет строгое значение. К примеру, железо во время облучения рентгеновским излучением испускает фотоны, равные  $K\alpha$ , или 6,4 кэВ. Соответственно, по количеству квантов и энергии можно судить о строении вещества [15].

### **Нормативные требования**

Для оценки экологического состояния почвы используются значения ПДК (предельно допустимых концентраций) и классы опасности:

- 1-й класс (чрезвычайно опасные): ртуть (ПДК 2,1 мг/кг), свинец (ПДК 32,0 мг/кг).
- 2-й класс (высокоопасные): кадмий, медь (ПДК 3,0 мг/кг), никель (ПДК 4,0 мг/кг).
- 3-й класс (умеренно опасные): марганец (ПДК 1500 мг/кг).

### **Оборудование и реактивы**

1. Рентгенофлуоресцентный спектрометр с программным обеспечением.
2. Пресс-форма и лабораторный пресс.
3. Борная кислота (в качестве основы для таблетки).
4. Подготовленная проба почвы (растертая до пудрообразного состояния согласно разделу пробоподготовки).

### **Порядок выполнения анализа**

1. Подготовка таблетки:
  - в пресс-форму засыпают борную кислоту.
  - с помощью фигурного пуансона формируют углубление («чашечку») глубиной не менее 3 мм.
  - в чашечку засыпают анализируемую навеску почвы и запрессовывают ее гладким пуансоном до получения плотной таблетки.
2. Измерение. Таблетку помещают в кювету спектрометра.
3. Анализ. Запускают автоматическую программу измерений. Прибор регистрирует спектр флуоресценции и рассчитывает массовые доли элементов.

### **Обработка результатов и расчеты**

Полученные результаты необходимо сравнить с со значениями ПДК, ОДК и фоном для данной территории пробоотбора. Также необходимо найти коэффициенты контрастности загрязнения, которые определяют для каждого загрязняющего компонента относительно значения предельно допустимых концентраций ПДК ( $K_{\text{ПДК}}$  – коэффициент контрастности относительно ПДК) и фоновых значений ( $K_{\text{ф}}$  – коэффициент контрастности относительно фона) по формулам 1 и 2:

$$K_{\text{ПДК}} = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

$$K_{\text{ф}} = \frac{C_i}{C_{\text{ф}}}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента в почве, мг/кг;  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го элемента в почве, мг/кг;  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация  $i$ -го элемента в почве, мг/кг.

Для оценки интенсивности загрязнения рассчитывают коэффициенты контрастности  $K_i$ .

### **Требования к заключению**

В выводах по работе необходимо:

1. Представить таблицу с концентрациями обнаруженных металлов.
2. Сравнить полученные данные с ПДК и фоновыми значениями.
3. Определить уровень загрязнения почвы (допустимый, слабый, средний, сильный или очень сильный) на основе рассчитанных коэффициентов.

### **2.3. Лабораторная работа № 3. Определение нефтепродуктов в почве**

Нефтепродукты (НП) представляют собой сложную смесь углеводородов различных классов, среди которых 90–95 % составляют алканы (парафины), циклоалканы (нафтены) и ароматические углеводороды. Они относятся к числу главных приоритетных загрязняющих веществ для почв и водных объектов. Согласно нормативным требованиям, для оперативного контроля загрязнения земель установлен норматив ПДК на уровне 0,1 мг/кг.

Токсичность нефтепродуктов обусловлена как их химическим составом, так и физическим воздействием на почвенную систему:

– Угнетение биоты. НП способны подавлять рост и развитие высших растений и микроорганизмов (фитотоксичность). Стерилизующий эффект загрязнения ведет к распаду микробных ценозов и потере биохимической активности почвы.

– Генетическая опасность. Входящие в состав нефти полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) обладают генетической активностью, вызывая повреждение наследственных структур (генотоксичность), что может привести к порокам развития в потомстве и онкологическим заболеваниям.

– Накопление в пищевых цепях. Загрязнители могут аккумулироваться в тканях организмов и передаваться по пищевым цепям, многократно увеличивая концентрацию при переходе к высшим звеньям.

При попадании в почву нефтепродукты подвергаются постепенной трансформации, проходя через несколько стадий, знание которых позволяет определить давность загрязнения и сроки восстановления земель:

– I этап (1–1,5 года) – физико-химическое рассеивание. Преобладают процессы испарения легких фракций, вымывания осадками и перераспределения по почвенному профилю. К концу этого этапа полностью исчезают n-алканы, а почвенная биота находится в глубоко подавленном состоянии, только начиная адаптироваться к новым условиям.

– II этап (3–4 года) – биохимическая деструкция. Происходит частичное разрушение сложных гибридных молекул. На этой стадии наблюдается резкая «вспышка» численности углеродооксилирующих микроорганизмов. Основной механизм – внедрение кислорода в молекулы и замена энергетически слабых связей C–C и C–H на более прочные связи с кислородом.

– III этап (5–6 лет) – завершение деградации. Характеризуется исчезновением вторичных парафиновых углеводородов и стабилизацией состава остаточных соединений.

Результатом загрязнения почвы нефтепродуктами являются глубокие изменения ее структуры и функций:

– Изменение физико-химических свойств. НП нарушают водный и воздушный режимы почвы, изменяют ее плотность и водопроницаемость. При сильном загрязнении на поверхности могут образовываться твердые корочки из высокоминеральных компонентов нефти – киры.

– Образование токсичных метаболитов. В процессе разложения образуются промежуточные продукты (спирты, кислоты, альдегиды, кетоны), которые могут быть более подвижными и токсичными, чем исходные углеводороды.

– Нарушение процессов самоочищения. Количественные изменения самоочищающей способности переходят в качественные, выражающиеся в нарушении времени и скорости естественных восстановительных процессов.

Миграция в сопредельные среды. НП способны вымываться из почвы, загрязняя грунтовые воды и поверхностные водоисточники, что создает долгосрочные риски для здоровья населения.

Конечными продуктами метаболизма нефти в почве являются углекислота (которая может связываться в карбонаты), вода и твердые нерастворимые продукты, которые частично входят в состав почвенного гумуса.

**Цель работы:** освоение флуориметрического метода измерения содержания нефтепродуктов в почве с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» для оценки уровня антропогенного загрязнения.

**Сущность метода.** Флуориметрия основана на способности молекул определенных органических веществ (в данном случае – ароматических углеводородов в составе НП) поглощать квант света и через короткий промежуток времени излучать избыточную энергию в виде вторичного свечения – флуоресценции. При малых концентрациях интенсивность этого свечения прямо пропорциональна содержанию нефтепродуктов в растворе. Процедура включает экстракцию НП из почвы

гексаном и последующее измерение интенсивности свечения очищенного экстракта.

Люминесценция – это свойство веществ излучать свет под действием различных возбуждающих факторов. Классификация люминесценции по методу возбуждения имеет большое практическое значение в реализации методик анализа. Различают:

- фотолюминесценцию – свечение, возбуждаемое ультрафиолетовым или видимым излучением;
- катодлюминесценцию – свечение, возникающее под действием ускоренных электронов;
- хемилюминесценцию – свечение, сопровождающее ряд химических реакций;
- рентгено- и радиолюминесценцию – свечение, возбуждаемое рентгеновскими лучами, или быстрыми частицами, такими как продукты радиоактивного распада;
- сонолюминесценция – свечение, вызванное ультразвуком;
- кандоллюминесценция (термо) – возбуждение при рекомбинации радикалов на поверхности тела. При этом источником радикалов является пламя;
- ионолюминесценция – свечение вещества в результате возбуждения его потоком ионов щелочных металлов в вакууме.

По длительности свечения люминесценцию классифицируют на флуоресценцию, т.е. свечение, затухающее после прекращения возбуждения ( $10^{-6} - 10^{-9}$  с), и фосфоресценцию, свечение, продолжающееся в течение более или менее длительного промежутка времени после прекращения возбуждения ( $10^{-2} - 10^{-3}$  с) [17].

По механизму элементарных процессов:

1) Вынужденная. В процессе вынужденного излучения происходит переход молекулы из возбужденного состояния на промежуточный метастабильный уровень, непосредственный переход с которого на основной (невозбужденный) уровень является маловероятным. Для перехода на уровень два частиц необходимо сообщить дополнительную энергию в виде тепла или света. Характерно для сложных органических молекул.

2) Резонансная. При резонансной люминесценции квант излучения, испускаемый частицей, равен поглощенному кванту. Переход молекулы происходит на возбужденный уровень, затем стремиться вернуться обратно на невозбужденный уровень. Характерна преимущественно для атомов, а также простейших молекул, находящихся в газообразном состоянии [17].

3) Спонтанная. Молекула мгновенно, не испуская ничего попадает на промежуточные возбужденные энергетические уровни. Затем возвращается обратно на невозбужденный уровень, причем квант излучения будет меньше кванта поглощения. Характерна для паров и растворов сложных молекул.

4) Рекомбинационная. Возникает как следствие воссоединения двух частей центра свечения, отделенных друг от друга при возбуждении, то есть рекомбинация, происходящая с выделением энергии. В результате выделяющейся энергии центр свечения переходит в возбужденное состояние, а после процесса релаксации электрон переходит в основное состояние с выделением кванта света, который наблюдается в виде люминесценции. Характерна для различных газов и особенно для кристаллофосфоров.

Флуориметрия – метод фотометрического люминесцентного анализа, основанный на измерении интенсивности вторичного излучения, возникающего в результате взаимодействия лучистой энергии с определяемым веществом [18].

Физический эффект флуоресценции заключается в том, что молекула исследуемого вещества поглощает квант света возбуждения и при этом переходит в новое, энергетически более богатое состояние, через некоторый микропромежуток времени она излучает избыточную энергию в виде кванта света флуоресценции

Метод флуориметрии применяется для определения некоторых металлов и анионов в воде; нефтепродуктов, витаминов, антибиотиков и других органических веществ.

При достаточно малых концентрациях вещества в растворе, когда квантовый выход  $V_{кв}$  постоянный, и при стандартных условиях анализа интенсивность люминесценции пропорциональна концентрации флуоресцирующего вещества:

Интенсивность флуоресценции зависит от: температуры, растворителя, величины рН испытуемого раствора, присутствия в растворе посторонних частиц, концентрации кислорода в испытуемом растворе, постороннего освещения.

Для определения содержания нефтепродуктов в почве применяется методика ПНД Ф 16.1:2.21-98 «Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02" (м 03-03-2012)» [6].

### **Нормативные требования**

Для оперативного контроля загрязнения почв нефтепродуктами используется ПДК (предельно допустимая концентрация): 0,1 мг/кг.

Уровень загрязнения земель характеризуется пятью уровнями: от допустимого (не выше ПДК) до очень сильного.

### **Оборудование и реактивы**

1. Анализатор жидкости «Флюорат-02».
2. Электронные весы (точность  $\pm 0,01$  г).
3. Гексан для УФ-спектроскопии (экстрагент).
4. ГСО раствора нефтепродуктов в гексане (для градуировки).
5. Фарфоровая ступка с пестиком и сито с отверстиями 1 мм.
6. Бумажные фильтры «красная лента».
7. Подготовленная воздушно-сухая проба почвы.

## Порядок выполнения анализа

Все операции с растворителем проводятся в вытяжном шкафу!

1. Взятие навески: поместить в коническую колбу навеску подготовленной почвы массой около 1 г (зафиксировать точный вес).
2. Первая экстракция: добавить в колбу 10 см<sup>3</sup> гексана, закрыть пробкой и интенсивно перемешивать в течение 15 минут.
3. Фильтрация: профильтровать экстракт через фильтр «красная лента» в мерную колбу объемом 25 см<sup>3</sup>.
4. Вторая экстракция: к остатку почвы в колбе добавить еще 10 см<sup>3</sup> гексана, перемешивать 5 минут и отфильтровать в ту же мерную колбу.
5. Доведение объема: довести содержимое мерной колбы до метки (25 см<sup>3</sup>) чистым гексаном и перемешать.
6. Измерение: заполнить кювету прибора экстрактом и замерить массовую концентрацию и коэффициент пропускания. Содержимое колбы доводят до метки гексаном, перемешивают и измеряют массовую концентрацию НП в режиме "Измерение" анализатора жидкости "Флюорат-02". Одновременно фиксируют значение коэффициента пропускания "Г", которое наряду с измеренным значением массовой концентрации НП выводится на дисплей анализатора.
7. Разбавление (при необходимости): если коэффициент пропускания менее 70 %, пробу следует разбавить гексаном и повторить замер.

## Обработка результатов и расчеты

Исходя из полученных значений коэффициента пропускания, принимают решение о необходимости разбавления экстракта:

- если коэффициент пропускания экстракта "Г" больше 70 %, то переходят к следующему пункту расчета массовой доли НП в анализируемой пробе;
- если коэффициент пропускания экстракта "Г" составляет от 20 % до 70 %, то экстракт разбавляют, для чего в сухую мерную колбу вместимостью 25 см<sup>3</sup> отбирают аликвоту экстракта (рекомендуемый объем 1 см<sup>3</sup>) и доводят до метки гексаном. Измеряют массовую концентрацию НП в разбавленном экстракте.

Массовую долю НП в пробе почвы  $X$  (мг/г) вычисляют по формуле 3:

$$X = \frac{C_{\text{изм}} \cdot V_{\text{г}} \cdot K}{m}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{изм}}$  – массовая концентрация НП в гексановом экстракте, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{\text{г}}$  – суммарный объем гексанового экстракта, см<sup>3</sup>;  $K$  – коэффициент разбавления экстракта,  $m$  – масса почвы, взятая на анализ, г.

## Требования к заключению

1. Указать полученную массовую долю нефтепродуктов в исследуемом образце.
2. Сравнить результат с ПДК (0,1 мг/кг).

3. Оценить степень загрязнения участка (допустимая, слабая, средняя, сильная или очень сильная).

4. Сделать вывод о необходимости ремедиационных мероприятий или возможности использования земли в сельскохозяйственных целях.

#### **2.4. Лабораторная работа № 4. Определение жесткости воды по ГОСТ 31954-2012**

**Нормативные требования к качеству питьевой воды.** Безопасность и пригодность воды для потребления человеком определяются ее соответствием жестким санитарно-эпидемиологическим стандартам, регулирующим органолептические свойства (вкус, запах, цветность), микробиологическую чистоту и химический состав. Одним из фундаментальных индикаторов состояния водной среды является водородный показатель (рН), характеризующий баланс ионов водорода. Для систем централизованного питьевого водоснабжения допустимый диапазон установлен в пределах 6,5–9,5, в то время как для подземных источников и объектов рыбохозяйственного значения требования более строгие – от 6,0 до 8,5. Отклонение от этих норм не только меняет органолептику (появление «мыльного» вкуса при щелочной реакции), но и значительно повышает коррозионную агрессивность воды по отношению к металлам и бетону.

**Требования к воде в промышленном секторе.** Техническое водопользование выдвигает специфические требования к качеству ресурсов, направленные на предотвращение деградации промышленного оборудования и сохранение качества выпускаемой продукции. Вода, используемая в технологических циклах, не должна инициировать процессы окисления механизмов, засорять распределительные сети или вызывать преждевременный износ бытовой и промышленной техники.

**Природа и последствия жесткости воды.** Под жесткостью понимается совокупность свойств воды, обусловленная присутствием в ней растворенных солей щелочноземельных металлов, прежде всего кальция и магния. Эти ионы попадают в гидросферу в результате химического выветривания и растворения карбонатных минералов (известняков, доломитов) под действием диоксида углерода. В экомониторинге выделяют два типа жесткости:

– Временная (карбонатная) – устраняется при кипячении, когда гидрокарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты, выпадающие в осадок.

– Постоянная (некарбонатная) – обусловлена сульфатами и хлоридами кальция и магния, которые остаются в растворе после термической обработки.

Наличие избыточных концентраций этих солей ведет к формированию плотных слоев накипи на внутренних поверхностях нагревательных приборов, котлов и трубопроводов. Данные отложения обладают крайне низкой теплопроводностью, что провоцирует неравномерный перегрев стенок оборудования и ускоренную коррозию корпуса. В критических ситуациях частичное отслоение накипи

от раскаленного металла может вызвать мгновенное парообразование и привести к взрыву котельного агрегата.

**Влияние жесткой воды на здоровье человека и животных.** Систематическое использование воды с высокой минерализацией наносит существенный ущерб состоянию живых организмов. Выделяют следующие основные патологические последствия:

1. Нарушения мочевыделительной системы. Накопление в организме избыточного количества неорганических примесей препятствует своевременному выведению солей. Застойные явления способствуют кристаллизации и формированию конкрементов в почках и мочевыводящих протоках, что становится базой для развития мочекаменной болезни.

2. Дерматологические проблемы и старение. Жесткая вода агрессивно воздействует на эпидермис, вызывая его дегидратацию (обезвоживание). При взаимодействии с мылом ионы кальция и магния образуют нерастворимые соли («мыльные шлаки»), которые блокируют поры, вызывая раздражение, сыпь и ускоряя механизмы старения кожи.

3. Деграция волосяного покрова и ногтей. Химический состав воды разрушает естественную липидную оболочку кожи головы и стержня волоса. Это приводит к потере блеска, хрупкости, истончению и последующему выпадению волос, а также может сопровождаться интенсивным зудом и ухудшением структуры ногтевых пластин.

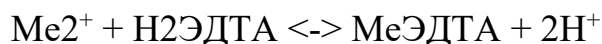
4. Гастроэнтерологические расстройства. Минеральный дисбаланс негативно влияет на секреторную функцию желудка, замедляя процесс переваривания пищи. Это снижает эффективность всасывания нутриентов и создает условия для хронических заболеваний желудочно-кишечного тракта.

В аналитической практике используют молярной способ определения концентрации (моль/л). Данный показатель жесткости воды классифицируют на три группы: мягкая вода, жесткость достигает до 2 ммоль экв/л; вода средней жесткости – от 2 до 10 ммоль экв/л; жесткая – более 10 ммоль экв/л.

Оптимальным для питьевых целей считается показатель, не превышающий 10,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Цель работы:** освоение комплексонометрического метода определения содержания ионов кальция и магния для оценки качества воды и ее пригодности для бытовых и технических нужд.

**Сущность метода.** Комплексонометрический метод основан на образовании комплексных соединений трилона Б с ионами Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. При этом протекает реакция:



Поскольку образование прочных комплексов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> с трилоном Б происходит в щелочной среде, титрование следует проводить с добавлением аммиачного буферного раствора. В качестве индикатора используется эриохром черный

Т. Титрование проводят до перехода окраски раствора из красно-малинового в синевато-серый цвет.

### Нормативные требования

Согласно аналитической практике, воду классифицируют по степени жесткости на три группы (таблица 2).

Таблица 2. Степень жесткости воды

Категория воды	Значение жесткости (ммоль кв/л)
Мягкая	до 2
Средней жесткости	от 2 до 10
Жесткая	более 10

Примечание: величина общей жесткости в питьевой воде, согласно российским стандартам, не должна превышать 10,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

### Оборудование и реактивы

1. Бюретка для титрования.
2. Конические колбы вместимостью 250 см<sup>3</sup>.
3. Мерный цилиндр (50 см<sup>3</sup>) и мерная пипетка (5 см<sup>3</sup>).
4. 0,05 н. раствор Трилона Б.
5. Аммиачный буферный раствор (NH<sub>4</sub>OH + NH<sub>4</sub>Cl).
6. Индикатор эриохром черный Т.
7. Проба анализируемой воды (100 см<sup>3</sup>).

### Порядок выполнения анализа

1. Подготовка пробы. В коническую колбу отмеряют 100 см<sup>3</sup> анализируемой воды.
2. Создание среды. Добавляют 5 см<sup>3</sup> аммиачного буферного раствора для установления необходимого уровня pH.
3. Введение индикатора. Добавляют 6–7 капель эриохрома черного Т. Раствор должен окраситься в красно-малиновый цвет.
4. Титрование. Медленно титруют пробу раствором Трилона Б при постоянном перемешивании до резкого перехода окраски в синевато-серую.
5. Фиксация данных. Записывают объем Трилона Б ( $V_1$ ), израсходованного на титрование.

### Обработка результатов и расчеты

Общую жесткость воды ( $J_{об}$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>) вычисляют по формуле 4:

$$J_{об} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 1000}{V}, \quad (4)$$

где  $V_1$  – объем трилона Б, израсходованного на титрование, см<sup>3</sup>;  $N$  – нормальность раствора трилона Б, израсходованного на титрование; 1000 – коэффициент пересчета;  $V$  – объем воды, взятой для исследования, см<sup>3</sup>.

### Требования к заключению

1. В выводах по работе необходимо:
2. Указать рассчитанное значение общей жесткости исследуемой пробы.
3. Определить категорию воды по таблице классификации (мягкая, средняя или жесткая).
4. Сделать заключение о соответствии воды санитарным нормам для питьевых целей и возможности ее использования в технических системах (с оценкой риска накипеобразования).

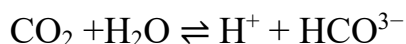
## 2.5. Лабораторная работа № 5. Измерение рН в водах потенциометрическим методом

**Значение рН в экологическом мониторинге.** Водородный показатель (рН) выступает одной из наиболее критичных характеристик качества природных и сточных вод, отражая их кислотно-щелочной баланс. Количественное определение данного параметра в аналитической практике регламентируется методикой ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Величина детерминирует направление и интенсивность ключевых химических и биохимических трансформаций: от нее зависит жизнедеятельность гидробионтов, устойчивость различных форм миграции элементов, а также степень токсичности загрязняющих веществ и агрессивность среды по отношению к металлам и бетону.

**Физико-химическая интерпретация.** По определению, является мерой активности ионов водорода и рассчитывается как отрицательный десятичный логарифм их концентрации:  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . Шкала показателя варьируется от 0 до 14 единиц:

- нейтральная среда (рН=7): характеризуется равенством концентраций ионов водорода и гидроксила ( $10^{-7}$  моль/л каждого);
- кислая среда (рН<7): преобладают катионы  $\text{H}^+$ ;
- щелочная среда (рН>7): преобладают анионы  $\text{OH}^-$ .

В естественных условиях поверхностных вод определяется преимущественно балансом в системе угольной кислоты:



Дополнительное влияние оказывают гумусовые кислоты и гидролиз солей тяжелых металлов.

**Экологические нормативы и классификация.** Согласно Сан-ПиН 1.2.3685 - 21 и рыбохозяйственным требованиям, установлены следующие диапазоны:

- Питьевая вода и зоны рекреации: 6,5 – 9,5 (или 6,5 – 8,5 для водных объектов).
- Рыбохозяйственные водоемы: 6,5 – 8,5.
- Подземные источники: 6,0 – 8,5.

В зависимости от концентрации ионов водорода природные воды классифицируют на семь групп: от сильноокислых ( $\text{pH} < 3$ , характерных для рудничных вод) до сильнощелочных ( $\text{pH} > 9,5$ ). В экологическом мониторинге также выделяют стадии закисления водоема: на первой стадии стабилен за счет нейтрализации ионами бикарбоната; на второй стадии ( $\text{pH} \leq 5,5$ ) наблюдаются глубокие изменения в составе организмов; на третьей стадии ( $\text{pH} < 5$ ) происходит полная деградация экосистемы под влиянием соединений алюминия.

**Принцип потенциометрического анализа.** Метод базируется на измерении электродвижущей силы (ЭДС) в цепи, где потенциал индикаторного электрода, помещенного в исследуемую воду, находится в линейной зависимости от активности ионов водорода.

Для регистрации сигнала применяются ионоселективные электроды (ИСЭ) – сенсоры, обладающие специфической чувствительностью к конкретным типам ионов в присутствии других компонентов пробы. В случае анализа используется стеклянный электрод, оснащенный мембраной из особого сорта стекла. Данная мембрана обладает избирательной проницаемостью для катионов водорода и щелочных металлов, оставаясь инертной по отношению к прочим катионам и всем анионам.

**Конструкция комбинированного стеклянного электрода.** Наиболее распространенной модификацией является комбинированный прибор, объединяющий в одном корпусе индикаторный электрод и электрод сравнения.

1. **Индикаторная часть:** включает стеклянную мембрану, контактирующую с анализируемой водой снаружи и внутренним раствором электролита (с постоянной концентрацией иона) изнутри.

2. **Электрод сравнения:** чаще всего используется хлорсеребряная система, погруженная во внутренний электролит. Ее функция – обеспечение стабильного перехода от ионной проводимости мембраны к электронной проводимости металлического токоотвода.

Этот переход осуществляется за счет обратимой химической реакции, в ходе которой происходит расходование/образование ионов и перенос электронов. Такое устройство гарантирует высокую точность и воспроизводимость измерений при соблюдении регламента градуировки прибора по стандартным буферным растворам

**Цель работы:** освоение потенциометрического метода определения водородного показателя  $\text{pH}$  в водных пробах для оценки их кислотно-щелочного равновесия и экологического состояния.

**Сущность метода.** Метод основан на измерении разности потенциалов между электродом, чувствительным к ионам водорода (индикаторным), и электродом сравнения. В работе используются ионоселективные стеклянные электроды (ИСЭ), мембрана которых проницаема только для катионов водорода. Электродный потенциал ИСЭ линейно зависит от концентрации ионов водорода в анализируемой пробе.

### **Оборудование и реактивы**

1. рН-метр-милливольтметр.
2. Стеклянный индикаторный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения (или комбинированный электрод).
3. Магнитная мешалка.
4. Химические стаканы вместимостью 100 см<sup>3</sup>.
5. Буферные растворы для настройки прибора (рН 4,01; 6,86; 9,18).
6. Дистиллированная вода для промывки электродов.

### **Порядок выполнения анализа**

Подготовка прибора: внимательно ознакомьтесь с принципом действия рН-метра-милливольтметра и правилами работы на нем. Включите прибор. Прогрейте прибор в течение 30 мин. Выберите режим работы: измерение «рН». Проверьте правильность настройки рН-метра-милливольтметра по «буферному» раствору, значение рН которого лежит в рабочем диапазоне, т.е. близко по значению к величине рН исследуемых растворов.

Буферный раствор – это раствор с известным и постоянным значением рН. Буферный раствор объемом 50 см<sup>3</sup> помещают в химический стакан вместимостью 100 см<sup>3</sup>. Электроды промывают дистиллированной водой, обмывают буферным раствором и погружают в стакан с буферным раствором на глубину 15 – 20 мм, при этом шарик стеклянного измерительного электрода необходимо полностью погрузить в раствор, а солевой контакт электрода должен быть погружен на глубину 5 – 6 мм. Одновременно в стакан погружают термокомпенсатор.

Градуировка (настройка):

- Промыть электроды дистиллированной водой.
- Погрузить их в буферный раствор с известным рН.
- Отсчет проводить после стабилизации показаний (изменение не более 0,2 ед. за 1 минуту).

### **Измерение пробы**

1. Поместить 50 см<sup>3</sup> анализируемой воды в стакан.
2. Ополоснуть электроды исследуемой водой и погрузить их в пробу на глубину 15–20 мм.
3. Зафиксировать значение рН после стабилизации показаний.
4. Повторность: измерение проводят дважды. Если значения отличаются не более чем на  $\pm 0,2$ , за результат принимают среднее арифметическое.

## Обработка результатов и расчеты

Значение рН считывается непосредственно с дисплея прибора. Расчеты не требуются, за исключением вычисления среднего арифметического при проведении параллельных определений.

### Требования к заключению

В выводах по работе необходимо:

1. Указать полученное значение рН пробы.
2. Определить группу воды по степени кислотности/щелочности (например, «слабощелочная»).
3. Сделать вывод о соответствии пробы нормативным требованиям для питьевой воды или водных объектов рыбохозяйственного значения.

### 2.6. Лабораторная работа № 6. Содержание нефтепродуктов в воде

**Цель работы:** определение содержания нефтепродуктов в воде с помощью инфракрасной спектроскопии

**Сущность метода.** Инфракрасная спектроскопия (ИК спектроскопия) – раздел молекулярной оптической спектроскопии, изучающий спектры испускания, поглощения и отражения электромагнитного излучения в инфракрасной области, т.е. в диапазоне длин волн  $\lambda$  от 1 до 1000 мкм. Области ИК излучения:

- $\lambda = 0,8 - 2,5$  мкм – ближняя область,
- $\lambda = 2,5 - 25$  мкм – средняя,
- $\lambda > 25$  мкм – дальняя.

Энергии ИК излучения обычно достаточно для того, чтобы изменить как вращательное, так и колебательное состояние молекулы.

При поглощении излучения в ИК области колебания молекулы переходят из нулевого колебательного состояния преимущественно в первое возбужденное состояние. Такие типы колебаний называют основными, собственными или нормальными колебаниями.

Спектры поглощения в ИК области обусловлены переходами между колебательными и вращательными уровнями молекул в основном электронном состоянии. Нормальные колебания атомов в молекулах подразделяют на два типа – валентные и деформационные. Валентные колебания ( $\nu$ ) возникают вследствие изменения межатомного расстояния в направлении химической связи между атомами, то есть за счет изменения межъядерного расстояния. Деформационные колебания связаны с изменением величины валентных углов [17].

В координатах интенсивности поглощенного излучения  $I$  (процент пропускания  $T = \frac{I}{I_0} \times 100 \%$ ) – длина волны  $\lambda$  мкм ( $\nu = \frac{v}{c} = \frac{1}{\lambda}$ ) инфракрасный спектр представляет собой сложную кривую с большим числом максимумов и минимумов.

ИК-спектры измеряют для газообразных, жидких и твердых соединений, а также их растворов в различных растворителях [18]. На рисунке 1 представлен инфракрасный спектр.

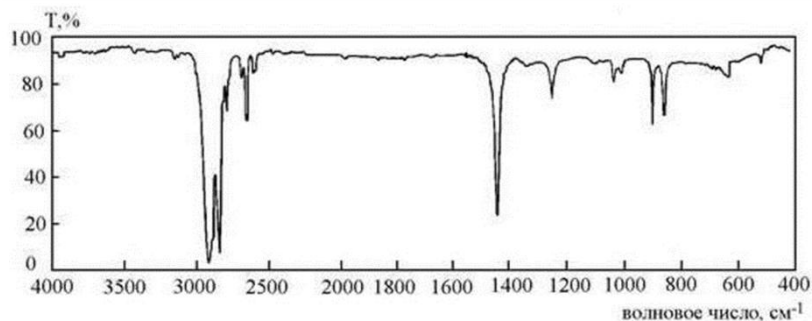


Рисунок 1 – Пример инфракрасного спектра

В методе ИК-спектроскопии наиболее широкое распространение получило исследование ИК-спектров поглощения, возникающих при прохождении ИК-излучения через вещество. Каждое вещество имеет свой колебательный спектр. Число полос поглощения в спектре, ширина, форма, интенсивность определяются структурой и химическим составом вещества. Для проведения качественного анализа проб по ИК спектрам необходимо провести его интерпретацию. При этом необходимо сочетание экспериментальных данных с теоретическим расчетом. Изучение ИК спектров веществ в настоящее время проводится двумя методами – выявлением характеристических частот и сравнение спектров сложных веществ со спектрами индивидуальных соединений [18].

Идентификация неизвестного соединения по ИК спектру осуществляется сравнением его спектра с эталонными спектрами. Для этого необходима обширная библиотека эталонных спектров; при этом важнейшим фактором является стандартность условий их регистрации. В настоящее время имеются многочисленные атласы органических и неорганических соединений.

Количественная связь между интенсивностью  $I$  прошедшего через вещество излучения, интенсивностью падающего излучения  $I_0$  и величинами, характеризующими поглощающее вещество, основана на законе Бугера-Ламберта-Бера, т. е. на зависимости интенсивности полос поглощения от концентрации вещества в пробе. При этом о количестве вещества судят не по отдельным полосам поглощения, а по спектральным кривым в целом в широком диапазоне длин волн. Погрешность количественного анализа, как правило, составляет доли процента.

Для регистрации спектров используют классические дисперсионные ИК - спектрометры и Фурье-спектрометры.

Типичный дисперсионный ИК-спектрометр функционирует следующим образом. Излучение от полихроматического источника проходит через кювету с образцом, а затем попадает на монохроматор, в качестве которого выступает призма либо дифракционная решетка. Далее инфракрасное излучение, разложенное в спектр, проходит через узкую щель, позволяющую выбрать необходимый

спектральный диапазон и направить его на детектор, где происходит определение его интенсивности. Проход по всему спектральному диапазону достигается за счет поворота призмы или дифракционной решетки: при этом в щель поочередно попадает излучение с разными длинами волн, что позволяет записать спектр [19]. Принцип работы представлен на рисунке 2.

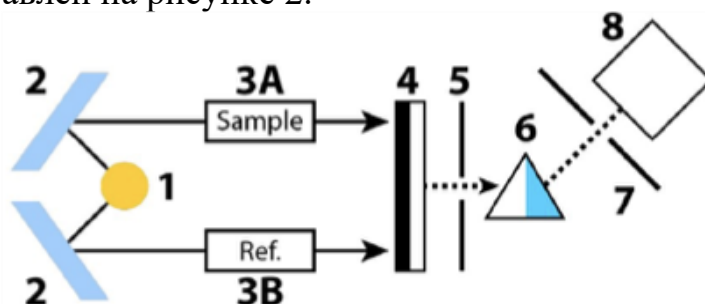


Рисунок 2 – Принцип работы ИК–спектрометра

1 – источник излучения, 2 – система линз, 3 – кювета с образцом и кювета сравнения, 4 – прерыватель (попеременное пропускание одного из двух лучей), 5, 7 – входная и выходная монохроматические щели, 6 – призма (дифракционная решетка), 8 – детектор.

Для определения концентрации НП в воде применяется метод, регламентированный ПНД Ф 14.1.272-2012 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефти и нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом инфракрасной спектроскопии» [7].

Метод основан на экстракции нефтепродуктов из водных проб с последующим измерением поглощения инфракрасного излучения в области характеристических полос колебаний углеводородных связей. Метод измерения массовой концентрации нефтепродуктов основан на зависимости интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра ( $2930 \pm 70$ )  $\text{см}^{-1}$  от массовой концентрации нефтепродуктов в растворе. Процедура анализа заключается в извлечении эмульгированных и растворенных нефтяных компонентов из воды экстрагентом. Нефтепродукты из водных проб экстрагируются с использованием органического растворителя (четырёххлористого углерода), не имеющего собственных полос поглощения в рабочем диапазоне.

### Оборудование и реактивы

1. Концентратомеры серии КН (для проведения использовался концентратомер КН-3;
2. Весы лабораторные;
3. Пипетки, колбы мерные, пробирки мерные, цилиндры, воронки, делительная воронка, фильтр синяя лента;
4. Углерод четыреххлористый (тетрахлорметан), х.ч. (химически чистый) по ГОСТ 20288 или для экстракции из водных сред.

### Порядок выполнения

Все действия строго выполняются в вытяжном шкафу! Перед началом выполнения работы заранее включить КН-3, поскольку время его прогрева составляет 1 час.

Пробу анализируемой воды полностью (100 мл) переносят в делительную воронку. Емкость, в которой находилась проба, тщательно ополаскивают 5 см<sup>3</sup> четыреххлористого углерода, затем выливают его в делительную воронку. Прибавляют туда еще 25 см<sup>3</sup> четыреххлористого углерода (с учетом консервации общий объем четыреххлористого углерода в делительной воронке должен быть 30 см<sup>3</sup>). Пробу экстрагируют встряхиванием в течение 5-ти минут.

Затем пробу воды отстаивают в течение (10 – 15) минут для расслоения водной и органической фаз. После расслоения фаз нижний слой (экстракт) сливают в колбу с притертой пробкой и подвергают дальнейшей обработке.

После отделения экстракта объем анализируемой пробы воды измеряют мерным цилиндром.

Далее проведение измерений осуществляют в соответствии с руководством по эксплуатации концентратомера.

Измерительную кювету, предварительно ополаскивают небольшим количеством элюата, а затем заполняют им кювету. Устанавливают кювету в прибор и измеряют массовую концентрацию нефтепродуктов в элюате, считывая показания прибора.

В случае если массовая концентрация нефтепродуктов превышает верхнюю границу диапазона измерений прибора, то разбавляют элюат четыреххлористым углеродом. Затем раствор заливают в кювету, которую предварительно ополаскивают этим раствором, устанавливают в прибор и производят измерение.

Результат измерений – массовую концентрацию нефтепродуктов в пробе воды,  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле 5:

$$X = \frac{X_{\text{изм}} \cdot V_{\text{ЭК}} \cdot K}{V} - X_{\text{хол}} \quad (5)$$

где  $X_{\text{изм}}$  – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в элюате на концентратомере, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{\text{ЭК}}$  – объем четыреххлористого углерода, использованного для проведения экстракции ( $V_{\text{ЭК}} = 30 \text{ см}^3$ );  $K$  – коэффициент разбавления, т.е. отношение объемов мерной колбы и аликвоты элюата (учитывается при разбавлении);  $V$  – объем пробы анализируемой воды, см<sup>3</sup> (которая учитывалась при разделении экстракта);  $X_{\text{хол}}$  – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в холостой пробе, мг/дм<sup>3</sup>, в пересчете на объем пробы дистиллированной воды (принимается равным 15,3 мг/дм<sup>3</sup>).

## **2.7. Лабораторная работа № 7. Концентрация взвешенных веществ в атмосферном воздухе**

Под взвешенными частицами в атмосферном воздухе или газовой среде понимается полидисперсная система, состоящая из твердых или жидких

компонентов микроскопического размера, находящихся в состоянии седиментационно-устойчивой взвеси. Генезис этих частиц преимущественно связан с антропогенной деятельностью: они образуются в ходе технологических операций (энергетическое сжигание углеводородного сырья, сварочные работы, механическое измельчение, перевалка сыпучих грузов, протекание химических реакций). Ключевой характеристикой такого состояния является длительное пребывание частиц в толще газа без немедленного осаждения, что квалифицируется как аэрозольное или пылевое загрязнение.

В коллоидной химии и физике аэродисперсных систем для описания подобных смесей используется термин «суспензия» или «аэрозоль», подразумевающий распределение твердой фазы в жидкой или газообразной среде без растворения, в режиме временной динамической стабилизации. Типичными примерами выступают гидросмеси, дымовые шлейфы или загрязненные сточные воды.

### **Классификация и физико-химические характеристики**

Идентификация взвешенных веществ производится по совокупности морфологических и физических параметров, определяющих их поведение в атмосфере и селективность методов улавливания.

1. Дисперсность и морфология. Ведущим фактором, детерминирующим поведение примеси в воздушной среде, является размер частиц. Диапазон дисперсности варьируется от ультрадисперсных (наноразмерных, от 0,001 мкм) до крупнодисперсных фракций (до 100 мкм). Габариты аэрозоля коррелируют с глубиной пенетрации в респираторный тракт и эффективностью гравитационного осаждения. Мелкодисперсные фракции представляют наибольшую сложность для улавливания механическими барьерами, что обуславливает применение электростатических осадителей или скрубберов мокрого типа. Форма частиц варьируется от изометричной (сферической) до анизометричной (игольчатой, чешуйчатой, пластинчатой, дендритной). Конфигурация тела определяет его аэродинамическое сопротивление и траекторию движения в потоке. К примеру, частицы игольчатой морфологии (металлическая пыль) характеризуются пониженной скоростью витания и хуже задерживаются тканевыми фильтрами по сравнению со сферическими агломератами.

2. Типологическая принадлежность. По генезису и агрегатному состоянию взвешенные в газовой фазе вещества дифференцируются на следующие категории:

- Пыль – дисперсная система, формируемая в результате дезинтеграции твердых материалов (дробление, абразивная обработка, транспортировка).
- Дым – аэрозоль конденсации, возникающий при термическом разложении и неполном окислении топлива. Состоит из ультрадисперсных твердых продуктов (сажа, зола).
- Туман (жидкий аэрозоль) – двухфазная система, где дисперсной фазой выступают капли жидкости, образующиеся при конденсации пересыщенного пара или распылении (масляные, кислотные, щелочные аэрозоли).

### **Физические свойства**

Плотность – величина, обратно пропорциональная времени релаксации частицы. Высокоплотные компоненты (пыль цветных металлов) подвержены быстрому гравитационному осаждению, тогда как низкоплотные (сажа) сохраняют агрегативную устойчивость.

Электрическая аффинность – способность к приобретению электрического заряда (самопроизвольная или индуцированная ионизация). Данное свойство является основой работы электрофильтров.

Смачиваемость (гидрофильность/гидрофобность) – интенсивность взаимодействия поверхности частицы с жидкостью, критически важная для эффективности инерционной и мокрой очистки газов.

### **Химический состав**

По химической природе различают органические (сажа, масла, биогенные компоненты) и неорганические (оксиды металлов, силикаты) включения. Органическая фракция часто пожароопасна и гигроскопична, склонна к агломерации. Неорганические взвеси, как правило, обладают абразивностью и могут инициировать коррозионные процессы (особенно кислотные туманы), что требует применения химически стойких конструкционных материалов в газоочистном оборудовании.

### **Аэродинамический диаметр**

Интегральный показатель, характеризующий поведение частицы в потоке вне зависимости от ее геометрической формы и плотности. Именно аэродинамический диаметр положен в основу современных классификаций (PM10, PM2,5), так как он коррелирует с биологической доступностью аэрозоля и эффективностью фильтрации.

### **Воздействие на биосферу и здоровье человека**

Токсикологическая опасность аэрозолей напрямую детерминирована их дисперсностью. Мелкодисперсные фракции обладают способностью к глубокой пене-трации в дыхательную систему. Частицы размером менее 10 мкм (PM10) оседают преимущественно в верхних отделах респираторного тракта, провоцируя воспалительные реакции. Фракции с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм (PM2,5) достигают альвеолярной ткани и могут проникать в системный кровоток, выступая триггерами кардиореспираторных патологий.

Помимо санитарно-гигиенического аспекта, высокое содержание взвешенных веществ в воздухе производственных помещений ведет к абразивному износу оборудования, снижению видимости и формированию взрывопожароопасных сред.

Современная классификация по аэродинамическому диаметру. В практике экологического мониторинга и проектирования пылегазоочистного оборудования принята следующая градация:

1. Крупнодисперсные фракции ( $>10$  мкм). Быстро осаждаются под действием силы тяжести. Задерживаются в носоглотке. Характерны для механических производств (деревообработка, строительство).

2.  $PM_{10}$  (менее 10 мкм). Твердые частицы, достаточно крупные, чтобы не проникать глубоко в легкие, но способные длительное время находиться в воздухе. Типичные эмиттеры – дорожная пыль, цементное производство, горнодобыча.

3.  $PM_{2,5}$  (менее 2,5 мкм). Мелкодисперсный аэрозоль, часто невидимый визуально. Характеризуется высокой временем жизни в атмосфере и способностью к трансграничному переносу. Образуется при сжигании топлива, в металлургических и нефтехимических процессах.

4. Наночастицы ( $<0,1$  мкм). Ультрадисперсные компоненты с высокой диффузионной подвижностью и химической активностью. Легко проникают через гистогематические барьеры. К ним относятся продукты неполного сгорания и синтезированные наноматериалы.

Приоритетным классификационным признаком в современной науке выступает размер частиц. Данный параметр является универсальным индикатором при оценке рисков для здоровья, расчете дальности переноса загрязнений и выборе технологической схемы обеспыливания (от циклонов до фильтров тонкой очистки и электрофильтров). Использование стандартизированных категорий ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ) обеспечивает сопоставимость данных международных исследований в области гигиены атмосферного воздуха и промышленной экологии.

В практике санитарно-гигиенического контроля воздуха рабочей зоны и атмосферы приоритетное значение имеет определение концентрации взвешенных частиц. Выбор метода анализа обусловлен целями исследования и требуемой полнотой характеристики аэрозоля.

#### **Основные методы анализа запыленности**

В зависимости от задач исследования применяются гравиметрический, счетный (микроскопический) и фотометрический методы анализа.

*Гравиметрический (весовой) метод* является базовым в санитарно-гигиенической практике. Его приоритет обусловлен тем, что при относительном постоянстве химического состава пыли именно массовая концентрация (количество вещества в единице объема воздуха) служит основным нормируемым показателем. Однако определение исключительно массы не дает исчерпывающей картины опасности аэрозоля, поскольку при равной массе частицы могут обладать различным химическим и дисперсным составом. Следовательно, полная гигиеническая характеристика пыли включает три ключевых параметра: массовую концентрацию, химический состав и гранулометрическое распределение частиц.

*Счетный (микроскопический) метод* позволяет оценить дисперсный состав аэрозоля. Суть метода заключается в осаждении пылевых частиц из известного объема воздуха на предметное стекло с адгезивным покрытием с последующей

микроскопией. В ходе анализа определяется общее количество частиц в единице объема, их морфология (форма) и распределение по размерам.

*Фотометрический метод* применяется для качественной и количественной оценки запыленности, в частности, с использованием ультрафиолетовых фотометров, позволяющих фиксировать оптические свойства аэрозоля.

### **Методы выделения частиц из воздушной среды**

Наиболее распространенным способом концентрирования пыли из воздуха является *метод фильтрации* (аспирация). Помимо фильтрации, используются методы, основанные на действии электростатических, центробежных и инерционных сил. Выбор метода сепарации определяется дисперсным составом исследуемого аэрозоля:

- *Инерционное и центробежное осаждение* эффективно преимущественно для выделения крупнодисперсных фракций (размером более 0,5–1 мкм).
- *Метод фильтрации* через волокнистые или мембранные фильтры позволяет улавливать частицы субмикронного диапазона (до 0,1 мкм).
- *Электростатическое осаждение* обеспечивает наиболее высокую эффективность для ультрадисперсных частиц (вплоть до 0,01 мкм).

В случаях, когда исследуемый аэрозоль характеризуется полидисперсным составом (широким диапазоном размеров частиц), целесообразно применение комбинации перечисленных методов осаждения.

При проведении мониторинга атмосферного воздуха и воздуха закрытых помещений предпочтение отдается методам с предварительным осаждением частиц. Это обусловлено, во-первых, возможностью прямого определения массовой концентрации, являющейся ключевым показателем при нормировании, а во-вторых, меньшей чувствительностью данных методов к вариабельности физико-химических свойств пыли, что особенно актуально для атмосферных аэрозолей.

### **Типология приборов пылевого контроля**

По функциональному назначению средства измерения запыленности подразделяются на две основные группы: пробоотборное оборудование и анализирующие приборы (пылемеры).

**Приборы для отбора проб (пробоотборники, аспираторы).** Данные устройства предназначены исключительно для осаждения аэрозольных примесей из известного объема воздуха на фильтрующие элементы или в поглотительные среды. Последующее определение массовой концентрации производится гравиметрическим методом путем взвешивания фильтров до и после отбора пробы. Большинство современных пробоотборников оснащаются таймерами для автоматического завершения цикла отбора. Основным достоинством данной группы является относительно невысокая стоимость оборудования. Ключевой недостаток – необходимость постаналитической обработки проб (лабораторное взвешивание), что существенно увеличивает временной лаг между отбором и получением результата [9].

**Анализирующие приборы (измерители концентрации пыли, пылемеры).** Устройства данной категории реализуют принцип прямого измерения, совмещающая функции отбора и анализа пробы в режиме реального времени. Результаты измерений визуализируются на дисплее в виде цифровых значений, таблиц или гистограмм, архивируются во внутренней памяти и могут быть выведены на печать. К числу преимуществ анализирующих приборов относятся: экспрессность получения данных (от 30 секунд до нескольких минут), возможность непрерывного мониторинга, наличие сигнализации при превышении пороговых концентраций. Главным недостатком, ограничивающим их широкое применение, является высокая стоимость, которая может в 3–20 раз превышать цену пробоотборников [9].

Интенсификация и рост объемов производства, обусловленные научно–техническим прогрессом и резким увеличением населения Земли, несмотря на усовершенствование технологии и техники очистки газовых выбросов и экономические санкции против предприятий, загрязняющих атмосферу, повлекли увеличение общей массы выбросов вредных веществ. Первое место занимают здесь аэрозоли – аэродисперсные системы, состоящие из твердых или жидких частиц, взвешенных в воздушной среде. В свою очередь аэрозоли делятся на пыли, дым и туман.

Аэрозолями называют системы, в которых дисперсной средой является газ, а дисперсной фазой – твердые (пыль) или жидкие (туман) частицы. Пыль – это аэрозольная система, образованная твердыми частицами диспергационного происхождения. Такие частицы образуются при измельчении твердых тел – дроблении руд и различных материалов, механической обработке металлов и других веществ, при их транспортировке, перегрузке и хранении, ветровой эрозии почвы и ее сельскохозяйственной обработке и т.д.

**Характеристика и поведение пыли в атмосфере.** Пыль представляет собой сложную аэродисперсную систему, физико-химические характеристики которой определяют ее динамику в воздушной среде, характер трансформации и специфику воздействия на живые организмы. К фундаментальным свойствам, детерминирующим поведение твердой фазы в газовом потоке, относятся **дисперсность** (размерный спектр), морфология (геометрическая конфигурация частиц), их плотность, электростатическая активность и сорбционная активность. Кроме того, критическое значение для промышленной безопасности имеют показатели растворимости и взрывоопасности пылевых смесей.

**Факторы патогенности и воздействие на человека.** Степень вредоносного влияния аэрозолей на здоровье человека зависит от совокупности экзогенных и эндогенных факторов: массовой концентрации в зоне дыхания, элементного состава, параметров твердости и электрического заряда пылинок. Ведущим фактором токсичности выступает размер частиц: мелкодисперсные фракции (PM10 и PM2.5) обладают способностью к глубокой пенетрации в респираторный тракт и проникновению в системный кровоток, выступая триггерами кардиореспираторных патологий.

В зависимости от химической природы пыль может оказывать на организм следующие виды негативного действия:

- раздражающее и аллергическое (поражение слизистых и кожных покровов);
- токсическое (общее отравление организма метаболитами);
- фиброгенное (индуцирование деструктивных изменений в тканях легких).

**Цель работы:** освоение гравиметрического (весового) метода определения содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе и оценка уровня пылевой нагрузки на исследуемой территории.

**Сущность метода.** Гравиметрический метод является базовым в санитарно-гигиенической практике. Он заключается в определении массы частиц, задержанных специальным фильтром при прохождении через него точно измеренного объема воздуха. Этот метод позволяет напрямую определить массовую концентрацию, которая служит основным нормируемым показателем.

Наибольшую опасность представляют мелкодисперсные фракции:

- PM10 (частицы <10 мкм) – задерживаются в верхних отделах дыхательных путей.
- PM2.5 (частицы <2.5 мкм) – проникают в альвеолы и системный кровоток.

### Нормативные требования

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, установлены следующие предельно допустимые концентрации (ПДК) в мкг/м<sup>3</sup> или мг/м<sup>3</sup> при пересчете (таблица 3).

Таблица 3. Значения ПДК для взвешенных частиц в воздухе

Загрязняющее вещество	ПДКм.р. (разовая)	ПДКс.с. (суточная)	ПДКс.г. (годовая)
Взвешенные вещества (пыль)	500 (0,5 мг/м <sup>3</sup> )	150 (0,15 мг/м <sup>3</sup> )	75 (0,075 г/м <sup>3</sup> )
Взвешенные частицы PM10	300	60	40
Взвешенные частицы PM2.5	160	35	25

### Оборудование и материалы

1. Аспиратор (побудитель расхода) со скоростью прокачки от 20 до 300 л/мин.
2. Фильтродержатель с сеткой и стаканом-насадкой.
3. Аэрозольные фильтры (бумажные или полимерные волокнистые материалы).
4. Аналитические весы (точность не менее 0,001 г).
5. Секундомер.

6. Термометр и барометр (для приведения объема воздуха к нормальным условиям).

### Порядок выполнения анализа

1. Подготовка фильтра: чистый фильтр взвешивают на весах с точностью до 0,001 г. Записывают исходную массу ( $m_2$ ).
2. Сборка системы: устанавливают фильтр в фильтродержатель и подключают его к воздухозаборной линии аспиратора.
3. Пробоотбор:
  - включают аспиратор и устанавливают необходимую скорость прокачки ( $Q$ );
  - проводят отбор проб в течение 20–30 минут (для разовых концентраций);
  - фиксируют температуру окружающего воздуха ( $t$ , °C) и атмосферное давление ( $P$ , кПа) в момент отбора.
4. Финальное взвешивание: после окончания отбора фильтр аккуратно извлекают и снова взвешивают ( $m_1$ ).

### Обработка результатов и расчеты

Концентрация пыли в воздухе определяется по формулам 6-8:

Фактический объем воздуха:

$$V_t = \frac{Q \times \tau}{1000}, \text{ м}^3, \quad (6)$$

$$V_0 = V_t \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{101,3}, \text{ м}^3, \quad (7)$$

$$C = \frac{m_1 - m_2}{V_0}, \text{ мг/м}^3, \quad (8)$$

где  $Q$  – объемная скорость пробоотбора, л/мин;  $\tau$  – время пробоотбора, мин;  $t$  – температура ОС во время пробоотбора,  $P$  – давление,  $m_1$  – масса фильтра после отбора проб,  $m_2$  – масса фильтра до отбора проб, мг.

### Требования к заключению

В выводах по работе необходимо:

1. Указать полученное значение концентрации взвешенных веществ.
2. Сравнить результат с установленной ПДКм.р. (0,5 мг/м<sup>3</sup>).
3. Оценить степень загрязнения воздуха (низкий, повышенный, высокий или очень высокий уровень).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг / Санкт-Петербургский горный университет. В.А. Матвеева, А.С. Данилов. СПб, 2019. 50 с.
2. В.П. Дмитренко. Экологический мониторинг техносферы: учебное пособие для вузов / В.П. Дмитренко, Е.В. Сотникова, А.В. Черняев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – ISBN 978-5-507-53878-2. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/503441> (дата обращения: 29.08.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – С. 179.
3. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов: дата введения 01.01.1987 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012789>
4. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков: дата введения 01.01.1983 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012472>
5. ГОСТ Р 59540 – 2021. Грунты. Методы лабораторного определения степени засоленности: дата введения 28.05.2021 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179786>
6. ПНД Ф 16.1:2.21-98 Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02" (м 03-03-2012): утверждена и введена ФГБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия»: дата введения: 2012-08-10 / разработана ООО «ЛЮМЭКС-маркетинг». – Санкт-Петербург. – 2012.
7. ПНД Ф 14.1.272-2012. Количественный химический анализ вод. Методика (метод) измерений массовой концентрации нефти и нефтепродуктов в пробах пробах природных и сточных вод методом инфракрасной спектроскопии: утверждена и введена ФГБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия»: дата введения: 2017-03-14 / разработана ООО «Производственно–экологическое предприятие СИБЭКОПРИБОР». – Москва. – 2017.
8. РД 52.04.893- 2020. Массовая концентрация взвешенных веществ в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений гравиметрическим методом: разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО») – Санкт-Петербург. – 2020.
9. Егоров В.Н., Хабаров Д.А. Определение запыленности воздуха. Методические указания. – Москва. – 2016.
10. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: Методические указания к практическим

работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: В.А. Матвеева, А.С. Данилов. СПб, 2019. 50 с.

11. Инфракрасная спектроскопия. URL: <https://helperlife.ru/infrakrasnaya-spektroskopiya-2---referat-ik-fure-spektroskopiya-ik-spektrometriceskii-metod-analiza/>.

12. Инфракрасная спектроскопия. URL: <https://studfile.net/preview/4283070/>

13. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ. Соболева Е.В., Шишлова М.А. Проблемы региональной экологии. 2018. № 2. С. 12-16.

14. Дифракционный спектроскоп. URL: <https://svoimi-rukami2.ru/difrakcionnyj-spektroskop/>

15. ЭКОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД. Лазарева Г.А., Корнева Л.Г., Жмылев П.Ю. Дубна, 2020.

16. Люминисцентный анализ. URL: <https://studopedia.org/7-29265.html>

17. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод модифицированным карбонатным шламом: диссертация ... доктора технических наук: 03.02.08

18. Бураков, Александр Евгеньевич. Физико-химические свойства наноструктурированных материалов: методы характеристики и диагностическое оборудование [Мультимедиа]: учебное электронное мультимедийное издание комплексного распространения / А. Е. Бураков, И. В. Романцова; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО "ТГТУ"). — Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2016.

19. ТЕХНОЛОГИИ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. Головнин О.К., Супрун А.С. Санкт-Петербург, 2020.

Молодкина Нелли Ринатовна  
Гладышева Марина Сергеевна

## **Основы экомониторинга**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А