

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»**

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИИ

краткий курс лекций

для аспирантов 2 года обучения

Направление подготовки

05.06.01 Науки о земле

Профиль подготовки

Экология

Саратов 2014

УДК 581.5:502.72

ББК

Методы исследований в экологии : краткий курс лекций для аспирантов ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова», направления подготовки 05.06.01 «Науки о земле», профиль подготовки «Экология» / Сост. Гусакова Н.Н., Мохонько Ю.М.

Краткий курс лекций по дисциплине «Методы исследований в экологии» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 05.06.01. «Науки о земле», профиль подготовки «Экология».

Краткий курс лекций содержит материал по теоретическим основам дисциплины.. Цикл направлен на формирование у аспирантов навыков получения необходимой исходной информации из разных источников; регистрации аналитических сигналов с использованием современного аналитического оборудования; хранения и переработки необходимой информации с помощью компьютерной технологии; ландшафтно-экологических исследований, экологического мониторинга и экспертизы. прогнозирования мероприятий, способствующих улучшению качества окружающей среды.

© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

Введение

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у аспирантов универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций: «способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях» (УК-1); «способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки» (УК-2); «готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3); «способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий» (ОПК-1); «способностью методически грамотно разрабатывать и осуществлять план мероприятий наблюдения, оценки и прогноза влияния различных форм антропогенной деятельности на окружающую среду» (ПК-3); «владением основами экспертно-аналитической деятельности с использованием современных подходов, методов, аппаратуры, способов обработки и интерпретации экологической информации при проведении научных и производственных исследований» (ПК-4); «знанием правовых основ природопользования, нормативных документов, регламентирующих организацию производственно - технологических работ, умением разрабатывать типовые природоохранные мероприятия» (ПК-5).

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

- ***знать***:

- особенности пространственного и временного развития взаимоотношений между природой, обществом и хозяйством на глобальном, региональных и локальных уровнях;
- закономерности возникновения и последующего развития разнообразных систем природопользования в зависимости от природно-ресурсных, экономических, социальных, культурно-исторических и других факторов;
- развитие процессов антропогенной трансформации окружающей среды и их последствий для жизни и хозяйственной деятельности человека;
- подходы к преодолению последствий воздействия на природные, природно-антропогенные гео- и экосистемы;
- компьютерные технологии решения экологических задач и проблем природопользования.

- ***уметь***:

- диагностировать вопросы, связанные с использованием и последствиями трансформации экологических систем;
- самостоятельно оценивать экологическое состояние окружающей среды;
- формулировать цели и задачи экологических исследований;
- обосновать выбор и пути решения возникающих экологических проблем;
- самостоятельно фиксировать и анализировать экологическое состояние окружающей среды различными современными физико-химическими методами;
- определять тенденции временного и пространственно развития состояния экологических систем в процессе использования природных ресурсов.

- владеть

- навыками получения необходимой исходной информации из разных источников;
- способами сбора, анализа и интерпретации полученной информации для решения поставленных задач в области экологии и природопользования;
- способами регистрации аналитических сигналов с использованием современного аналитического оборудования;
- основными методами и приемами получения, хранения и переработки необходимой информации с помощью компьютерной технологии;
- методами ландшафтно-экологических исследований, проектирования, экологического мониторинга и экспертизы;
- нормативно-законодательной базой России и международного сообщества в области природопользования и охраны окружающей среды;
- полученными теоретическими знаниями и практическими навыками в своей профессиональной деятельности.

Лекция 1

ЭКОЛОГИЯ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

1.1. Понятие о методах науки

Метод науки — это общий способ достижения всестороннего отражения предмета исследования, раскрытия его сущности, познания его законов. Средства реализации методов разнообразны. Например, это могут быть логические рассуждения, средства измерений по картам, вычислительные средства, техника для получения фотоизображений и т.д.

Методы разделяются на общенаучные и частные.

Общие методы — это область исследования философов, методологов науки,

Частные методы — область изучения специалистов в каждой конкретной области.

В экологических исследованиях могут быть применены как общенаучные методы: индукции и дедукции, системный, исторический и др., так и частные: трансектный, метод пробных площадок, метод изъятия и др. В своем развитии экологическая наука использовала методы географии, биологии, геологии, антропологии, физики, химии и других наук.

В структуре современной экологии можно выделить **3 основных направления**:

- биоэкология (рассматривает взаимоотношения организмов между собой и со средой обитания),
- геоэкология (рассматривает взаимоотношения между живым и неживым, а также между организмами и сообществами в составе основных биомов суши и Мирового океана),
- социальная экология (рассматривает взаимосвязь и взаимодействие человека с органической и неорганической средами).

Внутри этих направлений существует более детальное подразделение.

В связи с этим в экологических исследованиях используется несколько групп методов. Одни из них применяются только в некоторых подразделениях данной науки, например, клисектный и плансектный (экология растений).

Некоторые методы характерны для целого направления, например геохимический и геофизический методы (геоэкология).

Другие методы могут быть использованы в любом направлении — картографический, математический, дистанционный и др.

Методы исследований все время расширяются и совершенствуются. Практически все методы могут сочетаться друг с другом. Пример такого сочетания — математико-картографическое моделирование.

В связи с многообразием методов и их взаимопроникновением не представляется возможным дать характеристику каждого из них, поэтому в данном пособии рассмотрены лишь некоторые методы, наиболее быстро развивающиеся в настоящее время.

1.2. Методологические подходы в экологических исследованиях

Поскольку популяции и экосистемы сложены множеством организмов, так как на каждый организм и на их совокупности, будь то отдельная группировка, популяция или

ценоз, действуют не один, а сразу несколько экологических факторов и к тому же на протяжении разных отрезков времени, постольку и связи, и свойства перечисленных объектов оказываются многочисленными и разнообразными. Поэтому методологией, главным принципом всех экологических исследований, является **системный подход**, учитывающий как особенности самих объектов исследований, так и факторов эти особенности определяющих. В зависимости от того, что является объектом, и какова цель исследований используются разные подходы:

- популяционный ,
- экосистемный,
- эволюционный,
- исторический.

Популяционный подход предусматривает изучение размещения в пространстве, особенности поведения и миграции (у животных), процессов размножения (у животных) и возобновления (у растений), физиологических, биохимических, продукционных и других процессов, зависимости всех показателей от биотических и абиотических факторов. Исследования проводятся с учетом структуры и динамики (сезонной, онтогенетической, антропогенной) популяций, численности ее организмов. Популяционный подход обеспечивает теоретическую базу для прогнозирования рождаемости (в растительном сообществе – возобновления), выживания (динамики жизненного состояния) и смертности (распада, гибели). Он позволяет прогнозировать вспышки вредителей в лесном и сельском хозяйстве, позволяет выявить критическую численность вида, необходимую для его выживания.

Экосистемный подход выдвигает на первый план общность структурно-функциональной организации всех экосистем, независимо от от состава сообществ, среды и места их обитания. Основное внимание при этом подходе уделяется изучению потока энергии и циклам круговорота веществ в экосистемах, установлению функциональных связей между биологической составляющей и окружающей средой, т.е. между биотическими факторами и абиотическими. Экосистемный подход предусматривает всестороннее изучение всех популяций живых организмов сообщества (растения, микроорганизмы, животные) с учетом влияния на них ограничивающих факторов (эдафические, топографические, климатические). При этом подходе пристальное внимание уделяется анализу местообитаний, так как параметры факторов среды: физико-химические свойства почв, теплообеспеченность, влажность, освещенность, скорость ветра, и др., легко измеряются и поддаются классификации. В качестве примера успешности экосистемного подхода к изучению биосферы можно привести итоги работы ученых из разных стран, работавших с 1964 по 1980 гг. по Международной биологической программе (МБП). Конечной целью МБП было выявление запасов и законов воспроизводства органического вещества, его качественного (фракционного) состава по всем природным зонам и в целом на планете, с тем, чтобы предотвратить возможные нарушения биологического равновесия в глобальном масштабе. Благодаря выполнению данной программы была решена актуальнейшая задача – выяснить максимально возможные нормы изъятия биомассы для нужд человечества.

Эволюционный и исторический подходы позволяют рассматривать изменения экосистем и их компонентов во времени.

Эволюционный подход дает возможность понять основные закономерности, которые действовали в экосфере до того, как антропогенный фактор стал одним из

определяющих. Он позволяет реконструировать экосистемы прошлого, принимая во внимание палеонтологические данные (анализ пыльцы, ископаемые остатки).

В основе **исторического подхода** лежат изменения, обусловленные развитием цивилизации (от неолита до настоящего времени) и производствами, созданными человеком. К этим изменениям относятся изменения климата, целенаправленное и случайное расселение человеком растений и животных.

Каждый из вышеуказанных подходов требует применения своих методов, специально разработанных с учетом состава объектов, условий местообитаний и поставленных задач. Основные методы оценки состояния, динамики и эволюции экосистем будут приведены в следующей лекции.

1.3. Индикатор эффективности экологической политики – здоровье среды

Главной задачей в обеспечении благополучия и здоровья человека в экологическом аспекте является обеспечение здоровья среды.

Это единственный путь поддержания баланса между интересами хозяйственной деятельности и обеспечением экологической безопасности населения. Общность интересов в обеспечении здоровья среды является основой личной, национальной и глобальной экологической политики. Экологическая политика разных стран считает одним из приоритетов экологическое образование. Задачами его являются:

- развитие системы правильных экологических представлений
- формирование гуманного отношения к природе
- освоение экологически безопасных технологий природопользования.

Для решения всех названных проблем роль экологии неоспорима.

В целях консолидации общества в деле решения экологических проблем только за последние 2 года в России были проведены следующие крупные мероприятия:

1. Съезд токсикологов России .
2. Круглый стол общественных экологических организаций .
3. Всероссийская конференция «Стратегия сохранения водно-болотных угодий России».
4. Всероссийский научно-практический семинар по предотвращению свинцового загрязнения
5. Национальный форум по биоразнообразию
6. Всероссийский съезд по охране природы
7. Международная конференция «Природа и общество в новом тысячелетии»
8. Всероссийская научно-практическая конференция «Экоаналитика»

Саратовская область сегодня имеет комплекс экологических проблем крупного аграрно-промышленного региона. У нас имеются предприятия повышенного риска: атомная и гидроэлектростанции, газо-, нефте- и аммиако-проводы, опасные химические производства. Правительство Саратовской области совместно с общественными организациями разработало одну из первых в России региональных экологических программ «Стабилизация и улучшение экологического состояния Саратовской области с переходом на модель устойчивого развития». В рамках данной программы основными направлениями исследований являются:

- философско-экологическое,
- медико-экологическое,
- эколого-лесное,
- эколого-технологическое,

- эколого-экономическое,
- геоэкологическое,
- экологические проблемы аграрно-промышленного комплекса.

В рамках близкого к нам эколого-лесного направления исследуется оценка и повышение воздействия лесных насаждений на стабилизацию и улучшение экологического состояния окружающей природной среды. В рамках проблем агропромышленного комплекса изучаются эколого-экономические проблемы перехода агропромышленного комплекса на модель устойчивого развития. При реализации этих исследований используются различные методы.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Общие представления о методах науки
- 2) Общие и частные методы науки
- 3) Основные направления исследований в структуре современной экологии
- 4) Популяционный подход в экологических методах исследования
- 5) Экосистемный подход в экологических исследованиях
- 7) Эволюционные и исторический подходы в экологии
- 8) Особенности эволюционного подхода в экологии
- 9) Почему жители Саратовской области должны обладать экологической культурой
- 10) Докажите, что здоровье окружающей среды является индикатором экологической политики государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Розанов С.И. Общая экология : учебник для вузов /С.И.Розанов.-СПб.: Лань.- 2005.-288.- ISBN 5-8114-0350-X

Дополнительная

2. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учебн. Пособие/Б.И.Кочуров –Москва –Смоленск:Маждента,2003.- 384 с.- ISBN 5-98156-001-0
3. Ягодин Г.А. Устойчивое развитие: человек и биосфера / /Г.А.Ягодин, Е.Е.Пуртова.- М.:БИНОМ.Лаборатория знаний, 2003.-109 с.-ISBN 5-9963-1141-5

Лекция 2

МЕТОДЫ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Полевые методы исследования в экологии

В экологии часто используются методы, применяемые в других науках, как в биологических (биогеохимия, анатомия, физиология, и др.), так и небιологических (физика, химия, геодезия, метеорология и др.). Но для выявления специфики экологических закономерностей существуют исключительно собственные – экологические методы.

Они делятся на:

- полевые,
- лабораторные,
- экспериментальные,
- количественные (математическое моделирование) методы.

Экология, имеет свою специфику: объектом ее исследований служат не единичные особи, а группы особей, популяции (в целом или частично) и их сообщества, то есть биологические макросистемы. Многообразие связей, формирующихся на уровне биологических макросистем, обуславливает разнообразие методов экологических исследований. Для эколога первостепенное значение имеют **полевые исследования**, то есть изучение популяций видов и их сообществ в естественной обстановке, непосредственно в природе. При этом обычно используются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики и других биологических, да и не только биологических, наук. Наиболее тесно экологические исследования связаны с физиологическими. Однако между ними имеется принципиальная разница. Физиология изучает функции организма и процессы, протекающие в нем, а также влияние на эти процессы различных факторов. Экология же, используя физиологические методы, рассматривает реакции организма как единого целого на констелляцию внешних факторов, то есть на совместное воздействие этих факторов при строгом учете сезонной цикличности жизнедеятельности организма и внутрипопуляционной разнородности.

Полевые методы позволяют установить результат влияния на организм или популяцию определенного комплекса факторов, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности вида в конкретных условиях. Они предполагают изучение популяций и сообществ в естественной среде (в природе) и позволяют установить воздействие на объект комплекса факторов, изучить общую картину развития и жизнедеятельности изучаемого объекта. В качестве примера можно привести леса на склонах разных экспозиций, на разных почвах, на разных географических широтах. Или водные экосистемы на разной глубине в одном и том же море, на одной глубине в южных и северных морях. Все они, несмотря на различия, развиваются по одним и тем же законам, под влиянием комплекса факторов, но значения этих факторов разные и зависят от местоположения объекта исследований. Однако в полевых исследованиях очень сложно выявить роль одного фактора, как биотического (конкуренции, аллелопатии, плодородия почв), так и абиотического (тепло, влаги, света, засоления, кислотности почв), тем более, что все факторы функционально связаны друг с другом.

В настоящее время существует и активно используется в экологических исследованиях большое разнообразие полевых методов исследования:

- метод ключевых участков,
- метод трансект,
- метод профилирования,
- метод маршрутных исследований,
- метод эталонов,
- стационарный метод,
- трендовый метод,
- метод пробных площадок,
- бесплощадные методы,
- метод полигонов,
- метод плансектный ,
- метод укосов,
- метод фитомеров,
- метод ординации,
- метод градиентного анализа,
- метод экологических шкал и другие.

Все они позволяют получить информацию о состоянии, структуре и динамике конкретного ландшафта и его компонентов -почвы, растительности, природных водах, почвообразующих и подстилающих породах. Разберем некоторые из них :

Метод ключевых участков - -представляет собой оценку состава, структуры и продуктивности фитоценоза или популяции растений с использованием ключевых участков как минимальных единиц экстраполяции. Метод применяют при геоботанических исследованиях. Ключевые участки –это площади, которые служат эталоном конкретного типа фитоценоза или популяции определенного вида растений. Размеры ключевого участка (или площадь выявления) могут быть различными: в степной зоне от 2 до 5 м² . в тайге от 0,5 до 0,75 га. Следует помнить, что чем больше участок, тем больше неоднородность растительного покрова. Ключевые участки закладывают строго систематически, намечая их расположение по картографическим материалам или непосредственно на местности. В тех случаях, когда участок однороден по раститель-ному составу, исчезает необходимость определять долю площади, занятой конкретной растительностью. В этом случае через ключевой участок прокладывают несколько трансект, на которых проводят исследования состава, структуры и продуктивности фитоценоза или популяции растений. В тех случаях, когда площадь ключевого участка неоднородна по растительному покрову, следует определить долю площади, занятой изучаемыми объектами на ключевом участке. Для этого через ключевой участок прокладывают несколько маршрутных ходов, на которых отмечают протяженность изучаемых растительных группировок, затем рассчитывают процент площади, занятой ими. Эти данные имеют большое значение, например, для прогнозирования урожайности на единицу площади.

Метод маршрутных исследований – широко используется при проведении крупномасштабных полевых исследованиях, а также при изучении и картировании почв, растительности, рельефа, горных пород и гидрогеографических показателей. Маршрутные исследования могут быть двух видов:

- Системные – предполагают изучение всей площади,
- Реконгносцировочные – когда изучают только часть 10-20% всей площади.

В последнем случае предварительно дешифруют картографическую основу и намечают вероятные рабочие маршруты. При этом необходимо получить как можно

больше информации об объекте исследования. Для этого маршрутами охватывают междуречья, речные долины, понижения. Террасы и поймы рек, склоны и водоразделы. Анализируют закономерности функционирования и эволюции ландшафтов.

Метод эталонов – представляет собой модификацию метода «ключевых участков» и применяется для биогеохимических поисков полезных ископаемых в ландшафтах с аллювиальными, золовыми и ледниковыми типами отложений. «Ключевые участки» закладывают в тех точках, где искомым индикатор заведомо присутствует. Эти ключевые участки называют эталонами. В этих точках осуществляют подробные описания растительности и путем их сравнения выявляются те повторяющиеся черты растительного покрова, которые сопряжены с индикатором. Метод эталонов требует детального описания растительности с учетом фенологических явлений и морфологических аномалий. При данном методе отбор проб растений проводят по элементарным геохимическим ландшафтам. В процесс пробоподготовки растения озоляют и растворяют в кислотах и спектральным методом на ААС определяют содержание химических элементов. Полученные результаты используют для расчета коэффициентов биологического поглощения.

В экологии более точным методом выявления связи растительности и среды обитания считают **метод ординации**, представляющий собой упорядочение видов или сообществ в виде рядов вдоль осей, отражающих изменения определенных экологических факторов. Для правильного проведения исследований все экологические факторы должны быть ранжированы в определенной последовательности с учетом их важности для размещения видов. Сначала выбирают фактор, наиболее важный, и подбирают списки видов, соответствующие крайним местообитаниям в экологическом ряду данного фактора, например наиболее засушливых и увлажненных местообитаний. Между этими крайними списками располагают все промежуточные описания в порядке, отвечающем количественному изменению фактора. После ранжирования по наиболее важному фактору, повторяют эту процедуру для того фактора, который занимает второе место по влиянию на растительность. Далее надо охватить всех круг других факторов, действующих на растительный покров. Несмотря на широкое использование метод не лишен недостатков, к которым можно отнести следующие: не учитывается существование сообществ, ранжирование некоторых факторов проводят качественно, без количественных оценок, а также достаточно субъективно.

Другим интересным экологическим методом является **метод градиентного анализа**. Он используется для оценки связи растительного покрова со средой в наиболее строгом статистическом оформлении. Изменение фактора в ходе ординации анализируют не качественно, а путем конкретных измерений аналитических сигналов изучаемых образцов вод, почв и т.д. По результатам выделяют индикаторные группы видов, в которые включаются лишь те, которые в ходе градиентного анализа обнаружили наибольшую экологическую информативность. Этот метод позволяет более точно выявить группы –индикаторы, однако не лишен недостатков. К которым можно отнести: необходимость набора огромного числа описаний, некоторый отрыв набора пробных площадей от аэрофотоизображений местности. Исследовать роль конкретного фактора можно при постановке эксперимента в полевых или лабораторных условиях.

2.2. Лабораторные и экспериментальные методы исследований в экологии

Мы показали, что наблюдения не могут дать вполне точного ответа, например, на вопрос, какой же из факторов среды определяет характер жизнедеятельности особи, вида, популяции или сообщества. На этот вопрос можно ответить только с помощью **эксперимента**, задачей которого является выяснение причин наблюдаемых в природе отношений. В связи с этим экологический эксперимент, как правило, носит аналитический характер.

Экспериментальные методы позволяют проанализировать влияние на развитие организма отдельных факторов в искусственно созданных условиях и, таким образом, изучить все разнообразие экологических механизмов, обуславливающих его нормальную жизнедеятельность. На основе результатов аналитического эксперимента можно организовать новые полевые наблюдения или лабораторные эксперименты.

Выводы, полученные в лабораторном эксперименте, требуют обязательной проверки в природе. Это дает возможность глубже понять естественные экологические отношения популяций и сообществ.

Эксперимент в природе отличается от наблюдения тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно строго дозировать тот или иной фактор и точнее, чем при наблюдении, оценить его влияние.

В качестве примеров экологических экспериментов можно привести исследования функций лесозащитных полос, изучение осветления насаждений, влияния разных доз удобрений, вносимых под сельскохозяйственные культуры и т.д. Широко известен метод изучения конкурентных взаимоотношений деревьев в лесу путем ограничения определенной площади (площади питания).

Большое значение при проведении экологических исследований имеют химические и физиологические методы, т.к. они позволяют выявить роль разных компонентов экосистем, и в первую очередь, самого главного – фитоценоза, в аккумуляции и превращении вещества и энергии. Химические методы позволяют установить особенности накопления химических элементов в растениях и в целом в сообществах, особенности круговорота питания. С помощью физиологических методов можно в полевых условиях проследить физиологические процессы (фотосинтез и транспирация).

Эксперимент может носить и самостоятельный характер. Например, результаты изучения экологических связей насекомых дают возможность установить факторы, влияющие на скорость развития, плодовитость, выживаемость ряда вредителей (температура, влажность, пища).

В экологическом эксперименте трудно воспроизвести весь комплекс природных условий, но изучить влияние отдельных факторов на вид, популяцию или сообщество вполне возможно.

Примером экологических экспериментов широких масштабов могут служить исследования, проводимые при создании лесозащитных полос, при мелиоративных и различных сельскохозяйственных работах. Знание при этом конкретных экологических особенностей многих растений, животных и микроорганизмов позволяет управлять деятельностью тех или иных вредных или полезных организмов.

В современных условиях экологические исследования играют существенную роль в решении ряда теоретических и практических задач. Динамика численности организмов, сезонное развитие, расселение и акклиматизация полезных и вредных видов, прогнозы размножения и распространения насекомых и болезней — пример некоторых

основных в настоящее время экологических проблем. Разработка их требует рационального сочетания полевых, лабораторных и экспериментальных исследований, которые должны взаимно дополнять и контролировать друг друга.

2.3. Актуальность системного анализа в экологических исследованиях

Так как все биосистемы обладают способностью к саморегуляции, т.е. к восстановлению экологического равновесия, а законы их развития имеют причинно-следственную связь, то в экологических исследованиях широкое распространение получили **математические методы** (математическая статистика, методы теории информации и кибернетики, теории чисел, дифференциальные и интегральные исчисления и др.) и на основе этих методов – моделирование. Моделирование биологических явлений, т.е. воспроизведение в искусственных системах процессов свойственных живой природе, получило широкое распространение в современной экологии. Модели подразделяются на:

- реальные (аналоговые)
- знаковые.

Примеры аналоговых моделей – аппараты искусственного кровообращения, искусственная почка, протезы рук, управляемые биотоками. Аквариумы и океанариумы модели разных водоемов, теплицы – модели экосистем соответствующих природных зон.

Знаковые модели представляют собой отображение оригинала с помощью математических выражений или подробного описания и, в свою очередь, делятся на концептуальные и математические. Первые могут быть представлены текстом, схемами, научными таблицами, графиками и т.д., а вторые – формулами, уравнениями. Математические модели, особенно при наличии количественных характеристик, являются более эффективным методом изучения экосистем. Математические символы позволяют сжато описать сложные экосистемы, а уравнения дают возможность формально выразить взаимодействия различных компонентов экосистем.

Пример простейшего дифференциального уравнения, описывающего рост популяции какого-либо вида на какой-нибудь стадии ее развития (Радкевич, 1997):

$$dx/dt = rx,$$

где x – плотность популяции в момент времени t , r – скорость роста в период времени, соответствующий rt .

Процесс перевода физических или биологических представлений о любой экосистеме в математические формулы и операции над ними называются **системным анализом**. В современной экологии реальные и знаковые модели используются параллельно, дополняя друг друга. При отсутствии реальных моделей математический подход получается отвлеченным, а при исключении математического подхода бывает трудно уловить смысл реальной модели.

Экологический мониторинг – один из главных методов изучения динамики экосистем (биогеоценозов), происходящей под воздействием естественных и антропогенных факторов. Под мониторингом понимается специальное длительное слежение за состоянием одних и тех же экосистем. Подобные исследования сопряжены с большими время- и трудозатратами, так как предусматривают детальное описание и изучение всех компонентов, составляющих биогеоценоз, и потому возможны лишь при организации стационарных работ с закладкой как временных, так и постоянных пробных площадей. Мониторинг растительного покрова должен проводиться на разных

уровнях в соответствии с хорологической (пространственной) дифференциацией биосферных систем. С помощью одной пробной площади размером 1 га проводить мониторинг растительного покрова невозможно. Для равнинного геоботанического района (заповедника) необходимо заложить не менее 10-12 постоянных пробных площадей размером 1 га, а для горного района - не менее 30-40. Именно к такому выводу пришло большинство исследователей, работавших в разных регионах северной Евразии.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Общая характеристика полевых методов анализа в экологии
- 2) Что представляет собой метод ключевых участков
- 3) Актуальность метода маршрутных исследований
- 4) Отличительные особенности метода эталонов
- 5) Общая характеристика экспериментальных методов анализа экосистем
- 6) Актуальность системного анализа в экологических исследованиях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Методы полевых экологических исследований: учебн. Пособие /авт. коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Безина и др.; ред. кол.: А.Б.Ручин (отв. ред.). - Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2014. - 412 с. - ISBN 9678-5-7103-2874-3
2. **Березина Н.А.**, Экология растений / Н.А.Березина, Н.Б. Афанасьева- М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 400с. ISBN 978-5-7695-5161-1

Дополнительная

1. **Кочуров Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. Пособие/Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 3

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ

3.1. Основополагающее понятие « Растительная ассоциация»

В 1910 г. на Брюссельском международном ботаническом конгрессе за основную единицу растительного покрова была принята **ассоциация**. Определение растительной ассоциации уточняется до сих пор. Однако нет необходимости приводить все существующие формулировки данного понятия. Мы будем придерживаться взглядов отечественных геоботаников, и в частности В. Н. Сукачева, согласно которым **растительной ассоциацией** называется основная единица классификации растительного покрова, которая представляет совокупность однородных фитоценозов с одинаковой структурой, видовым составом и со сходными взаимоотношениями организмов как друг с другом, так и со средой.

Любая растительная ассоциация тесно связана с климатом, почвой, населяющими ее животными, характеризуется определенной продуктивностью и изменяется в зависимости от условий и флористического состава. Чаще всего ассоциацию называют по двум господствующим в ней растениям. Так, названия бор-зеленомошник, бор-брусничник, бор-кисличник довольно четко характеризуют расти-

тельные ассоциации. Но не всегда в ассоциации можно вычленить два типичных растения. Тогда ее называют по господствующим в ней видам. К примеру: ельник сфагново-травяной, сосновый бор-черничник с моховым покровом, сосняк с брусникой в напочвенном покрове на сухой и бедной почве. Сходные ассоциации объединяются в группы, группы — в формации, затем следуют группы формаций, классы формаций и типы растительности.

3.2. Закладка и описание пробных площадей и учетных площадок.

Специфическим методом исследования ассоциаций является закладка и описание пробных площадей и учетных площадок. Размеры **пробных площадей** для

травяных сообществ обычно колеблются в пределах от 1 до 100 м², для лесов — от 100 до 5000 м². Они могут иметь строго определенную форму (прямоугольник, квадрат) или естественные границы изучаемого сообщества. На пробной площади производится общее описание растительности.

Пробные площади могут быть временными и постоянными. На временных пробных площадях проводятся разовые учетные работы и не столь детально, как на постоянных пробных площадях (ППП). Именно последние служат для многолетнего изучения разных процессов и закономерностей развития растительности, т. е. для мониторинговых исследований. Желательно чтобы PPP были заложены во всех редких и в девственных сообществах каждой природной зоны.

При детальном изучении пространственной структуры PPP в натуре разбиваются на квадраты 10х10 м². На каждом из них выполняется сплошной перебор древостоя и крупного подроста с указанием жизненного состояния особей. Впоследствии выбираются квадраты, наиболее отражающие строй того или иного структурного элемента (парцеллы – в трактовке Н.В. Дылиса, 1974) и по их данным рассчитываются показатели: таксационные – для древостоя (средние диаметр и высота, сумма площадей

сечения стволов, разряды высот, запас древесины, относительная полнота, классы бонитета и товарности) и биометрические – для подлесочного яруса.

Для более точного подсчета всходов деревьев, побегов, отдельных видов растений в пределах пробной площади выделяются **учетные площадки**, обычные размеры которых не превышают 1—4 м², а для определения биомассы травостоя — 0,25 м².

При характеристике растительных сообществ производится подробное качественное и количественное их описание.

При описании растительных сообществ, прежде всего, составляется список растений в определенной последовательности: деревья, кустарники, кустарнички и полукустарники, многолетние, однолетние травы, мхи, лишайники, грибы, водоросли. При этом в каждой группе растения располагаются в систематическом либо в алфавитном порядке.

Кроме того, отмечаются угнетенные и буйно развитые виды, то есть их жизненность. Часто этот показатель устанавливается путем взвешивания сухой массы, приходящейся на единицу площади, что дает точный количественный учет.

Описывается также ярусность, мозаичность (микрогруппировки) и фенология (периодичность в развитии). Ярусы обозначаются римскими цифрами, начиная с верхнего уровня. При характеристике микрогруппировок в пределах пробной площади закладывают более мелкие, метровые площадки. Их размещают так, чтобы по возможности охватить все типы микрогруппировок (микроассоциаций), или исследование ведут по линейным трансектам. В каждой микрогруппировке описывают преобладающие виды растений и специфические условия среды (микрорельеф, влажность, накопление ветоши и др.).

При характеристике периодичности отмечается фенологическая фаза каждого описываемого вида. Обычно фенология изучается не на всей пробной площади, а на учетных площадках.

Важным признаком сообщества является его физиономичность. Здесь обращается внимание на состояние ассоциации, на ее общий вид, на момент появления цветущих, плодоносящих, отмирающих и вегетирующих растений.

Например, при изучении древостоя на временных пробных площадях жизненное состояние растений и особенности ярусов (древостоя, подроста, кустарников, трав), описываются глазомерно; замеры диаметров (перечет) у деревьев ведутся с точностью до 4 см, высоты измеряются у 20-30 деревьев. На постоянных пробных площадях каждому дереву присваивается порядковый номер и у диаметр измеряется с точностью до 0,1 см, указывается категория, отражающая жизненное и качественное состояние дерева.

Например, по следующей шкале:

I А – господствуют в первом ярусе, лучшие по развитию, с прямыми ровными, хорошо очищенными от сучьев стволами;

I Б – растут в первом ярусе, хорошего развития, здоровые, но могут иметь незначительные изъяны ствола;

II А – растут в первом и втором ярусах, здоровые, но отстают в росте или, в силу своей молодости, еще не вышли в класс господствующих;

II Б – здоровые, с сильно развитыми кронами, суковатыми стволами;

III А – перестойные, но без признаков усыхания; самые большие;

III Б – фаутные, сомнительной жизнеспособности, усыхающие.

Для более полной информации о развитии древостоя проводится анализ хода роста модельных деревьев главной породы, определяется возраст.

Подрост выше 2 м на пробных площадях учитывается полностью. Он разбивается по группам высот с градацией 0,25 или 0,5 м. Одновременно с перечетом указываются порода и жизненное состояние растущих особей.

очень хорошей жизненности – деревце густооблиствено (густоохвоено), прирост в высоту максимальный для данной группы высот, ствол без изъянов, кора гладкая;

жизнеспособный (благонадежный) – деревце здоровое, нормально развито, но могут быть небольшие изъяны у стволика: смены вершинок, кривизна; прирост побегов снижен, кора гладкая;

сомнительной жизненности – деревце сильно угнетено, прирост по высоте очень слабый или отсутствует, кроны редкие, нередко состоят из 1-2 ветвей; много сухих побегов, частые смены вершинок, кора шершавая;

нежизнеспособный (неблагонадежный) – прироста текущего года нет, живые ветви единичны, вершинки усохшие, кора шершавая, отслаивается.

Для всех пород отбираются модельные деревца – по одному для каждой группы высот. У них определяются возраст и приросты в высоту по годам за последние пять лет, измеряются диаметры стволика на уровне шейки корня и на высоте 1,3 м, высота стволика и диаметр кроны.

Для подлеска (кустарников) определяются видовой состав, состояние и сомкнутость ценопопуляции каждого вида. Он разделяется на редкий (сомкнутость $<0,3$), средней густоты (0,3-0,5) и густой (сомкнутость $>0,5$). Для определения биометрических показателей в выделенных грациях у 50 особей всех видов измерялись длина и диаметр побегов на уровне шейки корня. У кустарников подсчитывалось количество побегов в кусте и у всех побегов измерялись диаметр и длина побега.

Подрост ниже 0,25 м, всходы и самосев древесных и кустарниковых пород учитываются по площадкам 2х2 м. Учетные площадки закладываются на пробной площади равномерно по диагонали в верхнем правом (или левом) углу каждой 10-метровой клетки. На этих же площадках учитывается и возобновление лиан. Перечет самосева подроста и кустарников ведется по высоте с точностью до 5 см с указанием жизненности особей.

Напочвенный покров отличается большой неоднородностью структуры, особенно в северных лесах и редколесьях. Как фитоценоз может состоять из нескольких ярусов, так ярус напочвенного покрова – из нескольких подъярусов, образованных растениями разных жизненных форм: кустарничками, мхами, лишайниками, травами.

Травы, в свою очередь, можно разделить на группы: злаки и осоки, мелко- или низкотравье (высота до 15-20 см, разнотравье (травы средних размеров – до 50 см), крупнотравье (выше 50 см) и папоротники. Для каждой пробной площади составляется таблица со списком видов и показателями их численности отдельно для травяно-кустарничкового подъяруса и мохово-лишайникового подъяруса (покрова). Описание напочвенного покрова нередко выполняется одновременно с картированием микрогруппировок. Названия микрогруппировкам, как и всему ценозу, присваиваются по доминирующим видам и (или) группе видов со сходными экологией и жизненной формой. Например, «разнотравно-осоковая» означает, что в группировке высоко обилие смеси из разных трав среднего размера, но обилие осоки выше. Если проективное покрытие трав было ниже 60, но выше 40% – к названию добавлялось «разреженная», если ниже 40% – редкопокровная. Показатели численности видов и их динамика являются основными в экологических исследованиях. Численность определяется визуально и инструментально, но чаще визуально. Всегда на учетной

единице: площади (дм, м², км², га,), длины (м, км), объема (м³, 10 дм³), времени (час, сутки) и т.д.

3.3. Характеристика местообитания сообщества

После описания структуры растительной ассоциации характеризуют место обитания сообщества:

- рельеф, склон (если таковой имеется),
- почву (окраска, структура, мощность горизонтов),
- ее скелет (включения)
- механический состав,
- органические остатки (в толще и на поверхности)
- подстилку в лесах или войлок в степях.

Важно дать агрономическую или лесоводческую оценку почвы и определить тип к которому она принадлежит (чернозем, подзол, бурая, лесная, торфянистая).

Для более полной характеристики почвы образцы ее подвергаются лабораторному анализу, при котором следует определить не только химический и механический составы, но и выяснить особенности микрофауны и микрофлоры и, прежде всего, установить тип бактериального процесса (анаэробный, аэробный).

Вместе с описанием пробных площадей описывается геоботанический профиль. Этот метод четко показывает связь растительности и рельефа, что имеет особое значение в гористой местности. С этой целью выбирают какой-то ориентир и в данном направлении отмечают все изменения в растительности по уклону местности. По полученным результатам вычерчивают профиль описываемой площади.

3.4. Хозяйственная оценка ассоциации

Существенным показателем является хозяйственная оценка ассоциации. Для лесных угодий отмечается бонитет древостоя и обеспеченность семенным возобновлением. Для сенокосов и пастбищ — наличие в травостое полезных и вредных растений, степень плодородия почвы и поедаемости различных растений животными.

Применяются и другие методы для изучения растительных ассоциаций.

Химическими методами устанавливают накопление тех или иных минеральных и органических веществ в отдельных растениях определенного сообщества, в сообществе в целом, одними и теми же видами в разных сообществах. Этими методами также изучаются выделения растений, влияющие на соседние, на всю ассоциацию, на круговорот элементов питания в сообществе.

Важны и физиологические методы, с помощью которых в полевых условиях исследуют физиологические процессы, происходящие в отдельных растениях и сообществах в целом.

Физиологические и химические исследования имеют большое значение, поскольку фитоценозу принадлежит основная роль в аккумуляции и превращении веществ и энергии в биогеоценозе.

Учетные площадки закладываются при определении минимального ареала ассоциации.

Как известно, каждая растительная ассоциация состоит из многочисленных участков. Среди них нет тождественных, обладающих одинаковым растительным покровом. Есть виды, характерные для всех участков или только для некоторых. Виды,

свойственные данной ассоциации, называются константами. Константы разделяются на десять классов. Константы X класса встречаются на 91—100 % участков, IX — на 81—90 % и т.д. Константность многих видов по мере увеличения размеров площадок вначале растет, а затем становится постоянной. Наименьший размер площади, включающий все ее константы, называется **минимальным ареалом ассоциации**.

Однако более объективную характеристику всех признаков сообщества дает не минимальный ареал, а площадь выявления, то есть минимальная площадь, на которой выявляются все наиболее существенные особенности изучаемого сообщества.

Завершающим этапом изучения растительных ассоциаций служит геоботаническое картирование, которое производится на основе описания пробных площадей, профилей и т.д. В зависимости от масштаба на карту наносятся либо растительные ассоциации, либо группы ассоциаций, формации. При картировании широко применяется аэрофотосъемка.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Общая характеристика понятия «Растительная ассоциация»
- 2) В чем состоит закладка и описание пробных площадей и учетных площадок.
- 3) Какие параметры экосистемы необходимо учитывать для характеристики местообитания сообществ?
- 4) В чем заключается хозяйственная оценка растительной ассоциации?
- 5) Что представляет собой минимальный ареал ассоциации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Методы полевых экологических исследований: учебн. Пособие /авт. коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Безина и др.; ред. кол.: А.Б.Ручин (отв. ред.). - Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2014. - 412 с. - ISBN 9678-5-7103-2874-3
2. **Березина, Н.А.** Экология растений / Н.А.Березина, Н.Б. Афанасьева- М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 400с. ISBN 978-5-7695-5161-1

Дополнительная

1. **Кочуров Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. Пособие / Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ. ОТЛИЧИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

4.1. Общие представления о методологии экологического изучения животных

Одной из характерных черт экологических исследований животных является изучение их питания, то есть определение состава пищи и количества ее компонентов. Эти показатели могут изменяться в течение сезона. Для учета их анализируется содержимое желудков и остатков пищи, химический состав самой пищи, устанавливаются важнейшие компоненты и их значение для жизни животных на разных фазах развития и в различные сезоны.

При изучении животных, так же как и растений, важно знать:

- абиотические условия среды (химизм, влажность, температуру, степень освещенности, в целом метеорологические, почвенные, гидрологические факторы) ,
- биотические связи в сообществе.

Состав популяций видов животных, их структура, количество и другие показатели зависят от динамики размножения. Вот почему большое внимание уделяется вопросам размножения животных. Решение их позволяет выяснить фенологию размножения, степень участия в нем особей разного возраста и различного физиологического состояния, интенсивность размножения популяции, а также зависимость всех

этих показателей от абиотических и биотических факторов.

Знание особенностей поведения животных в разные сезоны, периоды жизни, в той или иной среде обитания также весьма существенно, поскольку с этими показателями связано состояние популяции, способность ее приспосабливаться к изменяющимся условиям.

Чтобы изучить образ жизни животных, их сезонные биологические циклы, необходимо выявить закономерности миграций и размещения популяций. Для этого используются различные способы мечения животных:

- кольцевание птиц,
- закрепление на теле млекопитающих меток,
- окраска,
- прикрепление к телу радиопередатчиков,
- введение в организм меченых атомов и т. д.).

Экологические исследования животных, как и растений, направлены на изучение у них интенсивности газообмена, водного обмена, накопления запасных питательных веществ, темпов роста, скорости размножения, биохимических процессов и ряда других показателей.

Для этого широко применяются общенаучные и общебиологические методы, но в отличие, например, от физиологических или анатомических исследований, когда изучается отдельный организм или процесс, происходящий в нем, в экологии с помощью этих методов мы познаем макросистему, то есть группу особей, популяцию или сообщество. Учет численности организмов и ее динамика являются основными показателями экологических исследований.

Количественный учет может быть:

- визуальным (глазомерным)
- инструментальным.

При визуальном учете организмы подсчитываются на определенном участке (площадной учет), маршруте (линейный учет) или в определенном объеме воды, почвы (объемный учет). Такой учет менее точный, чем инструментальный, при котором используются различные приборы. Например, в гидробиологии широко применяются дночерпатели и планктоночерпатели, позволяющие довольно точно подсчитать количество водных организмов на той или иной площади или в конкретном объеме.

Различают также:

- полный
- выборочный учеты.

Полный учет обычно применяется в лабораторных условиях. При этом подсчитываются все без исключения организмы. В природных условиях такая возможность практически исключена, и здесь, как правило, применяется выборочный учет — подсчитывается население на определенном участке (пробные площади, учетные площадки) и производится пересчет на всю площадь, занимаемую популяцией или сообществом.

Выборочный учет может быть:

- абсолютным
- относительным.

При абсолютном учете подсчитываются все организмы на пробной площади или в каком-то объеме. При относительном учете численность организмов учитывается приблизительно. Например, количество зверьков, попавших в определенное число ловушек на той или иной территории за сутки; количество птиц или растений, обнаруженных на маршруте.

4.2. Основные показатели численности организмов.

В экологии используют следующие основные показатели численности организмов.

Встречаемость (частота встречаемости) — это относительное число выборок, в которых представлен данный вид. Этим показателем обычно пользуются ботаники. Степень встречаемости зависит от относительных размеров выборки. Кроме того, чем больше выборок, тем точнее можно выявить виды, свойственные большинству

из них или только некоторым. Встречаемость характеризует распределение вида на пробной площади (выборка). Обычно на исследуемой площади намечается до 50 мелких выборок. Если вид встречается менее чем на 25 % выборок — он случайный, более чем на 50 % — встречаемость его высокая.

В геоботанике часто рассчитывается **коэффициент встречаемости**, то есть процентное отношение числа площадок, где вид зафиксирован, к общему числу площадок.

Обилие — это количество особей вида либо всего сообщества, приходящееся на единицу площади или объема.

При описании растительных ассоциаций для характеристики обилия чаще всего пользуются 5-балльной шкалой Хульта:

5 — очень обильно, 4 — обильно, 3 — не обильно, 2 — мало, 1 — очень мало. Существует также школа Друде.

В таблице 1 показаны соотношения показателей двух шкал.

Таблица 1

Шкалы, характеризующие обилие видов

Шкала обилия Друде	Шкала обилия Хульта (балльная)
sos – очень обильно, сплошь, пр. покр. более 90%	5 – очень обильно
cop1-3 – вид обилен, по величине обилия выделяются 3 степени пр. покр. соответственно: 30-40, 50-60 и 70-80%	4 – обильно
sp – вид обычен, но сплошного покрова не образует, пр. покр. 10-20%	3 – не обильно
sol – вид растет рассеянно, пр. покр. 3-5%	2 – мало
un – вид встречается один раз, пр. покр. <1%	1 – очень мало

При учете животных различают разовое обилие и среднее для всего пространства за определенный период (сезон, месяц, год).

Причем в некоторых исследованиях обилие часто называется **плотностью населения**.

Доминирование (относительное обилие) представляет собой отношение числа особей данного вида к общему числу особей всех видов, выраженное в процентах. Оно характеризует преобладание одного вида над другими.

В геоботанике этим показателем пользуются в основном при исследовании растений одинаковых размеров.

Покрытие — площадь, покрываемая надземными частями того или иного вида растения в сообществе. Различают истинное покрытие (процент площади, занятой основаниями побегов растений) и проективное (процент площади, покрываемой верхними частями растений). В травостоях эти показатели обычно определяются при помощи специальных приборов (сеточки учета, масштабные вилочки, квадрат-сетки, зеркальные сеточки), в лесоводстве — полнотой древостоя, покрытием стволами (сумма поперечного сечения всех стволов данного вида на уровне груди человека от поверхности земли), кронами или сомкнутостью крон (отношение поверхности почвы, затененной кронами деревьев, ко всей поверхности почвы пробной площади).

Биомасса — это общая масса особей одного вида, группы видов или сообщества в целом, приходящаяся на единицу поверхности или объема местообитания. Выражается в массе сырого или сухого вещества, а также углерода или азота (грамм на квадратный или кубический метр). Биомасса растений носит название фитомассы, животных — зоомассы. По биомассе отдельных компонентов судят о количественных соотношениях масс организмов. С помощью количественного учета устанавливают разовую, начальную (в начале вегетационного периода), конечную (в конце вегетационного периода), среднюю (за какой-то период времени — месяц, год) биомассу.

Прирост биомассы организмов вида или всего сообщества за определенный период называется **продукцией**. Например, биомасса зерна пшеницы, полученная с гектара, является продукцией за год, или урожаем. При специальных исследованиях, кроме перечисленных, используют и другие показатели численности организмов: индекс плотности, удельную продукцию, продуктивность, преобладание (весовой и объемный методы) и др.

4.3.Общность параметров количественного учета растений и животных

Цели и задачи экологических исследований фито- и зооценозов сходны – изучение водного и газового обмена, продуктивности, закономерностей биохимических (физиологических) процессов, темпов роста и размножения, др. показателей. Так же, как жизнь растений, жизнь животных зависит от абиотических факторов среды – тепла, влаги, света, состава воздуха и др. факторов. Но изучение животных имеет свои характерные особенности. Одна из самых характерных – изучение питания: состава и количества пищи в разное время года и разные периоды жизни животного. Большое внимание уделяется вопросам размножения (фенология размножения, половая и возрастная структура популяций, зависимость размножения от пищевых ресурсов и погодных условий) – этим определяется продолжение рода и сохранность популяции как вида. Изучение поведения животных позволяет изучить способность популяции приспосабливаться к изменению условий среды, с поведением связано состояние популяции, ее реакция на всевозможные «раздражители». Немаловажно изучение образа жизни и сезонных биоциклов для познания закономерностей миграции и размещения популяций. Все показатели количественного учета имеют большое теоретическое и практическое значение. Позволяя выявить биологические ресурсы отдельных биогеоценозов и биосферы в целом, они дают возможность делать кратковременные и долгосрочные прогнозы численности полезных и вредных видов, разрабатывать меры по охране и рациональному использованию природных ресурсов.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Общие представления о методологии экологического изучения животных.
- 2) Характеристика показателей «встречаемость» и «коэффициент встречаемости»
- 3) Сравнительная характеристика шкал обилия видов Друде и Хульта.
- 4) Что представляют собой термины «биомасса» и «продукция»?
- 5) В чем состоит общность параметров количественного учета растений и животных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1.Методы полевых экологических исследований: учебн. Пособие /авт.коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Безина и др.; ред. кол.:А.Б.Ручин (отв. ред.).-Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2014.- 412 с.- ISBN 9678-5-7103-2874-3.

2.**Лысов, П.К.** Биология с основами экологии: учебник/П.К.Лысов, А.П.Акифьев, Н.А.Добротина.-М.:Высш. Шк., 2007.- 655с. – ISBN 978-5-06-003837-8.

3. **Березина, Н.А.** Экология растений / Н.А.Березина, Н.Б. Афанасьева- М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 400с. - ISBN 978-5-7695-5161-1.

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. Пособие/Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 5

ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ВИДЫ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ

5.1. Объекты геоэкологических исследований

Для того чтобы определить полный перечень методов, которые могут быть использованы при геоэкологических исследованиях, необходимо выделить объекты изучения и их основные составные части.

Объектами геоэкологических исследований являются:

- территории,
- природно-технические
- экологические системы.

Выделение границ территориального объекта, как правило, обусловлено административным аспектом или определено заказчиком. Например, выполнить оценку геоэкологического состояния г. Москвы (административная граница) или оценить геоэкологическое состояние поймы р. Оки в пределах Луховицкого района Московской области (граница территории исследований задана заказчиком).

В качестве природно-технической системы (ПТС) может выступать любой территориально-промышленный комплекс или любой промышленный объект как источник загрязнения окружающей природной среды. Например, Волжский каскад водохранилищ (гидротехнический комплекс), Саратовский нефтеперерабатывающий завод, бензоколонка и т.д.

В процессе геоэкологических исследований проводится оценка степени воздействия ПТС на все компоненты природной среды, а также определяется ущерб, который наносит ПТС природно-ресурсному потенциалу.

Третьим объектом геоэкологических исследований выступают экологические системы. Это могут быть лесные массивы, водоемы, реки и другие объекты, за исключением популяций живых организмов, изучением которых занимается биоэкология. Например, оценить состояние оз. Байкал или лесопарка «Кумысная поляна». В этом случае также проводится изучение всех компонентов природной среды и экологических систем более низкого порядка (экосистем средой обитания которых является оз. Байкал или лесопарк) с позиции оценки состояния и степени изменчивости, вызванной техногенным воздействием.

В пределах определенных границ изучаются компоненты природной среды, втянутые в хозяйственное освоение или подверженные техногенному воздействию, природные ресурсы и составные части исследуемых объектов (территорий, ПТС и экосистем).

5.2. Предметная область геоэкологических исследований

В состав предметной области геоэкологических исследований входят:

- почвы и почвогрунты,
- растительность,
- поверхностные и подземные воды,
- приповерхностная атмосфера ,

- природно-техногенные процессы.

Кроме этого предметная область включает все виды природных ресурсов и функциональное использование территории (объектов).

Таким образом, **предметная область** состоит из:

- 1) компонентов природной среды;
- 2) природных ресурсов;
- 3) видов функционального использования территории (объектов).

Именно характеристики этих трех частей предметной области и являются микрообъектами геоэкологических исследований.

5.3. Основные методы геоэкологических исследований

В составе методов геоэкологических исследований выделяются следующие основные группы:

- методы получения информации об изучаемом объекте,
- методы ведения мониторинговых наблюдений,
- методы обработки геоэкологической информации.

Геоэкологические исследования оперируют тем же комплексом методов, что и применяемые в геологии, гидрологии, метеорологии и географии. Требуется лишь направить методический аппарат объяснения получаемых данных на выявление тех особенностей, которые проявляют себя как экологические факторы и, соответственно. Представить результаты в такой форме. Которая позволяет решать поставленные задачи.

Таким образом, говоря о методах геоэкологических исследований, имеется в виду их целенаправленность, а не отличие от традиционного применения.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что представляют собой три типа объектов геоэкологических исследований
- 2) Поясните принципы выделения границ геоэкологических исследований
- 3) Дайте характеристику предметной области геоэкологических исследований
- 4) Охарактеризуйте основные методы геоэкологических исследований

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Методы полевых экологических исследований: учебн. Пособие / авт. коллектив: О.Н. Артаев, Д.И. Башмаков, О.В. Безина и др.; ред. кол. : А.Б. Ручин (отв. ред.). - Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2014. - 412 с. - ISBN 9678-5-7103-2874-3.
2. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В. Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н. Латочкин. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 608 с. - ISBN 978-5-7695-4196-4.
3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И. Розанов. - СПб.: Лань, - 2005. - 288 с. ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие / Б.И. Кочуров. - Москва-Смоленск: Маджента, 2003. - 384 с. - ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 6

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1. Общая характеристика спектральных и оптических методов анализа

Спектральные и оптические методы анализа основаны на взаимодействии определяемого вещества и электромагнитного излучения (ЭМИ). Методы классифицируются по нескольким признакам – принадлежности ЭМИ к определенной части спектра (УФ-спектроскопия, фотоэлектроколориметрия, ИК-спектроскопия), уровню взаимодействия вещества с ЭМИ (атом, молекула, ядро атома), физическим явлениям (эмиссия, абсорбция и т.д.). Классификация спектральных и оптических методов по основным признакам приведена в таблице 2.

Таблица 2

Классификация спектральных и оптических методов

Физическое явление	Уровень взаимодействия	
	Атом	Молекула
Спектральные методы		
Поглощение света (абсорбция)	Атомно- абсорбционная спектроскопия -ААС	Молекулярно- абсорбционная спектроскопия - МАС (фотоэлектроколориметрия, спектрофотометрия)
Излучение света (эмиссия)	Атомно-эмиссионная спектроскопия -АЭС (фотометрия пламени)	Молекулярно- эмиссионная спектроскопия - МЭС (люминесцентный анализ)
Вторичная эмиссия	Атомно- флуоресцентная спектроскопия-АФС	Молекулярно- флуоресцентная спектроскопия - МФС
Рассеивание света	-	Спектроскопия рассеяния (нефелометрия, турбидиметрия)
Оптические методы		
Преломление света	-	Рефрактометрия
Вращение плоско- поляризованного света	-	Поляриметрия

6.2. Атомно-эмиссионная спектроскопия, фотометрия пламени

Атомно-эмиссионная спектроскопия – группа методов анализа, основанных на измерении длины волны и интенсивности светового потока, излучаемого возбужденными атомами в газообразном состоянии.

При эмиссионном анализе определяемое вещество, находящееся в газовой фазе, подвергают возбуждению, сообщая системе энергию в виде ЭМИ. Энергия, необходимая для перехода атома из нормального в возбужденное состояние, называется *энергией возбуждения (потенциалом возбуждения)*. В возбужденном состоянии атом находится 10^{-9} - 10^{-8} с, затем, возвращаясь на более низкий энергетический уровень, испускает квант света строго определенной частоты и длины волны.

Элементы, содержащиеся в пробе, идентифицируют по набору спектральных линий (на основании частот или длин волн) испускаемого ЭМИ. Количественный анализ основан на измерении интенсивности спектральных линий элементов.

Общая схема спектральных приборов:

- СВП - система ввода пробы (компрессор для получения аэрозоля),
- СВС - система выделения спектра: – призма
- светофильтр
- дифракционная решетка,
- СРС - система регистрации спектра:
- визуальная (глаз)
- фотографическая (фотопластина)
- фотоэлектрическая (фотоэлемент)

Фотометрия пламени - метод анализа, основанный на фотометрировании излучения возбужденных в пламени атомов. Вследствие невысокой температуры в пламени возбуждаются спектры элементов, имеющих низкую энергию возбуждения - щелочные и щелочноземельные металлы.

При использовании наиболее распространенного пламени природного газа в смеси с воздухом ($t = 1700$ - 1900 °С) определяют 12 щелочных и щелочноземельных металлов, медь, серебро (табл. 3). Изменяя характеристику пламени, можно увеличить число определяемых элементов (табл. 4).

Таблица 3

Аналитические линии важнейших элементов

Элемент	Длина волны, нм	$E_{\text{возб}}$, эВ	E_n , эВ	Характеристика (окраска) линии
Калий	766,50	1,62	4,34	Темно-красная линия
Натрий	588,99	2,10	5,14	Желтая линия
Литий	670,78	1,85	5,39	Красная линия
Магний	285,20	4,37	7,65	Фиолетовая линия
Кальций	422,67	3,10	6,11	Фиолетовая линия
Барий	553,55	2,24	5,21	Желто-зеленая линия
Медь	515,50	4,52	7,72	Зеленая линия

Возбуждению атомов в пламени предшествуют другие процессы, происходящие в пламени: испарение растворителя, кристаллизация пробы, сублимация (возгонка) твердого вещества, термическая диссоциация (распад молекулы на атомы). Под действием температуры пламени атомы металла переходят в возбужденное состояние ($Me' - Me^*$), рис.1. При переходе атома из возбужденного в нормальное состояние происходит эмиссия, возбуждению атомов может сопутствовать ионизация, приводящая к завышению результатов анализа, т.к. энергия излучения ионов накладывается на излучение определяемых элементов.

Качественный анализ проводят по окраске перлов пламени и характерным спектральным линиям элементов (табл.). Количественный анализ основан на эмпирической зависимости интенсивности спектральной линии (I) определяемого элемента от его концентрации в пробе (c), которая описывается уравнением Ломакина-Шейбе:

$$I = a \cdot c^b, (1)$$

где a - коэффициент, зависящий от режима работы источника возбуждения (температуры и стабильности пламени); b - коэффициент самопоглощения.

Для определения концентрации металла в пробе применяют методы градуировочного графика и добавок.

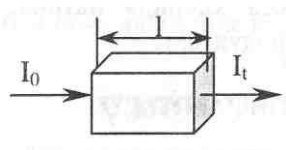
Таблица 4

Характеристика пламени

Горючий газ	Окислитель	$t, ^\circ\text{C}$	Возбуждаемые элементы
Природный газ (пропан-бутан)	Воздух	1800	Щелочные металлы
Ацетилен	Воздух	2200	Щелочные и щелочноземельные металлы
Водород	Кислород	2800	Щелочные, щелочноземельные и тяжелые металлы
Ацетилен	Кислород	3100	Ag, Cu, Mn
Ацетилен	Оксид азота N_2O	3200	Тяжелые металлы (Pb, Cr, Cd, Fe, Sn)

6.3. Фотоэлектроколориметрия-основная база исследований объектов окружающей среды

Фотоэлектроколориметрия основана на поглощении света определяемым веществом в видимой области спектра (400 - 760 нм); это разновидность молекулярно-абсорбционной спектроскопии.



Поток света с интенсивностью I_0 , проходящий через светопоглощающий раствор с толщиной l , частично рассеивается, преломляется, но большая его часть поглощается; из раствора выходит поток I_t , интенсивность которого меньше I_0 .

Светопоглощение описывается законом Бугера-Ламберта (первый закон светопоглощения). Слои одинаковой толщины при прочих равных условиях поглощают равную долю падающего монохроматического излучения:

$$\lg(I_t/I_0) = -k \cdot l$$

где k - коэффициент светопоглощения; знак « $\rightarrow$ » указывает на уменьшение светового потока.

Закон Бера (второй закон светопоглощения) описывает зависимость светопоглощения от концентрации раствора:

$$k = k' \cdot c,$$

где c - концентрация раствора, моль/дм³; k' - коэффициент светопоглощения.

Для решения аналитических задач применяется основной (объединенный) закон светопоглощения Бугера-Ламберта. Количество электромагнитного излучения, поглощенное раствором, пропорционально концентрации поглощающих частиц и толщине слоя:

$$\lg(I_t/I_0) = -k' \cdot l \cdot c$$

Величина $\lg(I_t/I_0)$ называется абсорбцией или оптической плотностью (A).

Основной закон светопоглощения принимает форму:

$$A = k \cdot l \cdot c \quad (2)$$

Если концентрация раствора выражена в моль/дм³, а толщина поглощающего слоя в см, тогда коэффициент $k = \epsilon$, и основной закон светопоглощения имеет вид:

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c,$$

где ϵ - молярный коэффициент светопоглощения, дм³/(моль·см).

Молярный коэффициент светопоглощения - мера чувствительности фотометрических методов. Чем больше ϵ , тем выше чувствительность метода, тем меньшую концентрацию вещества можно определить.

Физический смысл ϵ : при $c = 1$ моль/дм³ и толщине слоя $l = 1$ см $\epsilon = A$.

Графический смысл ϵ : $\epsilon = \operatorname{tg} \alpha$, где α - угол наклона градуировочного графика.

Факторы, влияющие на ϵ :

- природа вещества; хромофорные и ауксохромные группировки увеличивают ϵ ;
- природа растворителя;
- природа фотометрического реагента - вещества, которое вступает в стехиометрическую реакцию с определяемым ионом и образует окрашенное соединение;
- реакция среды (рН раствора);
- длина волны λ , зависимость $\epsilon = f(\lambda)$ описывается кривой распределения Гаусса и называется *спектром поглощения раствора*;
- температура.

Молярный коэффициент светопоглощения *не зависит* от концентрации и толщины поглощающего слоя.

Анализ состоит из следующих стадий.

- Переведение анализируемого вещества в раствор и отделение при необходимости мешающих компонентов. Фотометрируемый раствор должен быть истинным во всем диапазоне определяемых концентраций.
- Анализируемый раствор должен обладать сильным селективным поглощением, т.е. быть окрашенным. Если раствор не имеет собственной окраски, его переводят в окрашенную форму применяя фотометрический реагент. Его подбирают так, чтобы молярный коэффициент светопоглощения окрашенной формы и вещества был по возможности большим, а условия анализа (рН раствора, температура, природа растворителя) – как можно проще.
- Готовят раствор сравнения - растворитель, содержащий все компоненты анализируемого раствора, кроме определяемого вещества.

- Изучают спектральную характеристику раствора; по максимальному светопоглощению выбирают оптимальную длину волны света λ , и светофильтр; окраска светофильтра должна дополнять окраску анализируемого раствора до белой (табл. 5)

Таблица 5

Области поглощения видимого света

Окраска раствора	Область поглощения, нм	Дополнительная окраска
Желто-зеленая	400 – 450	Фиолетовая
Желтая	450 – 500	Синяя
Красная	500 – 550	Зеленая
Синяя	550 – 590	Желтая
Сине-зеленая	590 – 650	Оранжевая
Зеленая	650 – 750	Красная

- Для выбора оптимальной толщины поглощающего слоя (длины кюветы) проверяют выполнение закона Бугера-Ламберта. В наборе к фотометрии-ческим приборам имеются кюветы с толщиной поглощающего слоя от 1 до 50 мм. При выборе толщины слоя учитывают диапазон значений A , для которых относительная погрешность измерения минимальна (0,5-1,0 %): $0,1 < A < 0,8$. Оптимальная оптическая плотность. $A = 0,45$.

- Выбирают интервал концентраций, при которых соблюдается закон Бугера-Ламберта-Бера. Для раствора с минимальной концентрацией, помещенного в выбранную кювету величина A должна быть не менее 0,1; для раствора с максимальной концентрацией $A < 0,8$. Растворы, не удовлетворяющие таким требованиям, исключают из серии стандартных. Измеряют оптическую плотность стандартных растворов и строят градуировочный график.

- В идентичных условиях измеряют оптическую плотность анализируемого раствора и по градуировочному графику находят концентрацию определяемого вещества в растворе.

Измерения выполняют на фотоэлектроколориметре. Измеряемые величины - оптическая плотность A и светопропускание T , %. Они связаны соотношением $A = -\lg T$, т.к. $T = I_t / I_0 \cdot 100$.

Таблица 6

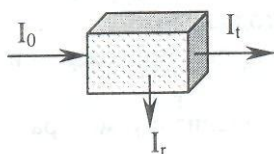
Сравнительная характеристика спектральных приборов

Характеристика	УФ-спектро-фотометр	Фотоэлектро-колориметр	ИК-спектро-фотометр
Область спектра, нм	200-400	400-760	760-2500
Аналитическая форма вещества	Бесцветные истинные растворы	Окрашенные истинные растворы	Бесцветные безводные истинные растворы

Источник -излучения	Ртутно-кварцевая или водородная лампа	Вольфрамовая лампа Лампа Нернста	
Система моно-хроматизации света	Призмы из кварца, дифракционные решетки ($\Delta \lambda = 0,5-2$ нм)	Светофильтр ($\Delta \lambda = 50$ нм)	Призмы из NaCl, LiF, KI; дифракционные решетки ($\Delta \lambda = 0,5-2$ нм)
Система регистрации аналитического сигнала	Фотоэлементы с внешним фотоэффектом, фотоумножители		Фоторезистор, термопара, приемник Голея
Оптика (кюветы, линзы и т.д.)	Кварцевое стекло	Силикатное стекло	Монокристаллы NaCl, LiF, KI
Представители	СФ-26, СФ-46	КФК-2ПМ, ФЭК-56	ИКС- 14, ИКС- 24

6.4. Турбидиметрический метод анализа экологических объектов

Турбидиметрический метод основан на поглощении и рассеивании монохроматического света взвешенными частицами анализируемого вещества. Метод применяется для анализа суспензий, эмульсий при определении в растворах, природных и технологических водах веществ (хлориды, сульфаты, фосфаты), способных образовывать труднорастворимые соединения. Определения основаны на реакциях осаждения.



При прохождении светового потока через дисперсную гетерогенную систему (взвесь малорастворимого соединения) происходит ослабление светового потока I_0 в результате поглощения и рассеивания света твердыми частицами.

Определяемый компонент переводят в малорастворимое соединение, которое должно находиться во взвешенном состоянии, и измеряют интенсивность потока света, прошедшего через дисперсную систему I_t (турбидиметрия) или интенсивность рассеянного света I_r (нефелометрия).

Поглощение света твердыми частицами подчиняется основному закону светопоглощения Бугера-Ламберта-Бера:

$$A = \lg(I_0/I_t) = k \cdot l \cdot c$$

где k - молярный коэффициент мутности раствора, см^{-1} ; l - толщина светопоглощающего слоя, см; c - концентрация раствора, моль/дм^3 .

Молярный коэффициент мутности обратно пропорционален толщине слоя, которая изменяет интенсивность падающего светового потока в 10^{-1} раз.

Основной закон светопоглощения соблюдается при строго постоянных условиях приготовления суспензии.

Условия приготовления суспензий и взвесей:

- осадок должен быть практически нерастворим, константа растворимости должна быть как можно меньше;
- осадок должен находиться в виде взвеси;
- определенное значение рН для образования малорастворимого соединения (для этого применяют растворы электролитов или буферные растворы);
- формирование дисперсной системы происходит во времени, поэтому для полного образования осадка необходимо выдержать определенное время;
- должны соблюдаться строго определенные порядок смешивания растворов и соотношение между их концентрациями;
- для поддержания стабильного взвешенного состояния твердых частиц применяют защитные коллоиды (желатин, крахмал, агар-агар); частицы при этом не осаждаются, не коагулируют, а находятся во взвешенном состоянии.

В этих условиях формируются частицы осадка одинаковой формы и объема, число частиц зависит только от концентрации вещества в растворе.

При анализе растворов с бесцветными рассеивающими частицами и неокрашенным растворителем максимальная чувствительность определения достигается при использовании излучения голубой или ближней ультрафиолетовой области спектра. Для окрашенных систем оптимальную длину волны подбирают экспериментально.

Количественный анализ выполняют методом градуировочного графика. График строят для серии стандартных растворов при одинаковых условиях (постоянные длина волны поглощающего света, толщина поглощающего слоя, температура раствора). Вид градуировочного графика аналогичен зависимости оптической плотности A от концентрации вещества в методе фотоэлектроколориметрии, поэтому для измерения A при турбидиметрических определениях применяют фотоэлектроколориметры, где аналитический сигнал фиксируется фотоэлементом. Устройство прибора и принцип его работы описаны ранее в методе фотоэлектроколориметрии.

Высокая чувствительность метода турбидиметрии позволяет определять микроколичества хлоридов, сульфатов, фосфатов, для которых отсутствуют фотометрические реакции.

К ограничениям метода относится невысокая точность (5 -10 %), которая связана с трудностями приготовления суспензий, стабильных во времени и содержащих частицы одинаковых размеров, причем размеры молекул осадка должны быть меньше длины волны.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Классификация спектральных и оптических методов.
- 2) Общая характеристика методов атомно-эмиссионной спектроскопии и фотометрия пламени.
- 3) На чем основан метод фотометрии пламени, его достоинства и ограничения
- 4) Докажите, что фотоэлектроколориметрия - является основной базой исследований объектов окружающей среды.

5) Особенности турбидиметрического метода анализа экологических объектов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4.

2. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов:учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В.Ряписова, Н.Р.Стрельцова.- М.:кОЛОСс, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7.

3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 7

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

7.1. Электрохимические методы исследований в экологии

Электрохимические методы анализа основаны на измерении потенциалов, силы тока и других характеристик при взаимодействии анализируемого вещества с электрическим током.

Электрохимические методы делятся на три группы:

- ♦ методы, основанные на электродных реакциях, протекающих в отсутствии тока (потенциометрия);
- ♦ методы, основанные на электродных реакциях, протекающих под действием тока (вольтамперометрия, кулонометрия, электрогравиметрия);
- ♦ методы, основанные на измерениях без протекания электродной реакции (кондуктометрия).

По приемам применения электрохимические методы классифицируются на *прямые*, основанные на непосредственной зависимости аналитического сигнала от концентрации вещества, и *косвенные* (установление точки эквивалентности при титровании).

Для регистрации аналитического сигнала необходимы два электрода - индикаторный и сравнения. Электрод, потенциал которого зависит от активности определяемых ионов, называется *индикаторным*. Он должен быстро и обратимо реагировать на изменение концентрации определяемых ионов в растворе. Электрод, потенциал которого не зависит от активности определяемых ионов и остается постоянным, называется *электродом сравнения*.

7.2. Потенциометрия – экспрессный метод анализа ООС

Потенциометрический метод основан на измерении электродвижущих сил обратимых гальванических элементов и применяется для определения концентрации ионов в растворе. Зависимость потенциала электрода от активности ионов описывается уравнением Нернста, которое применяют в следующей форме:

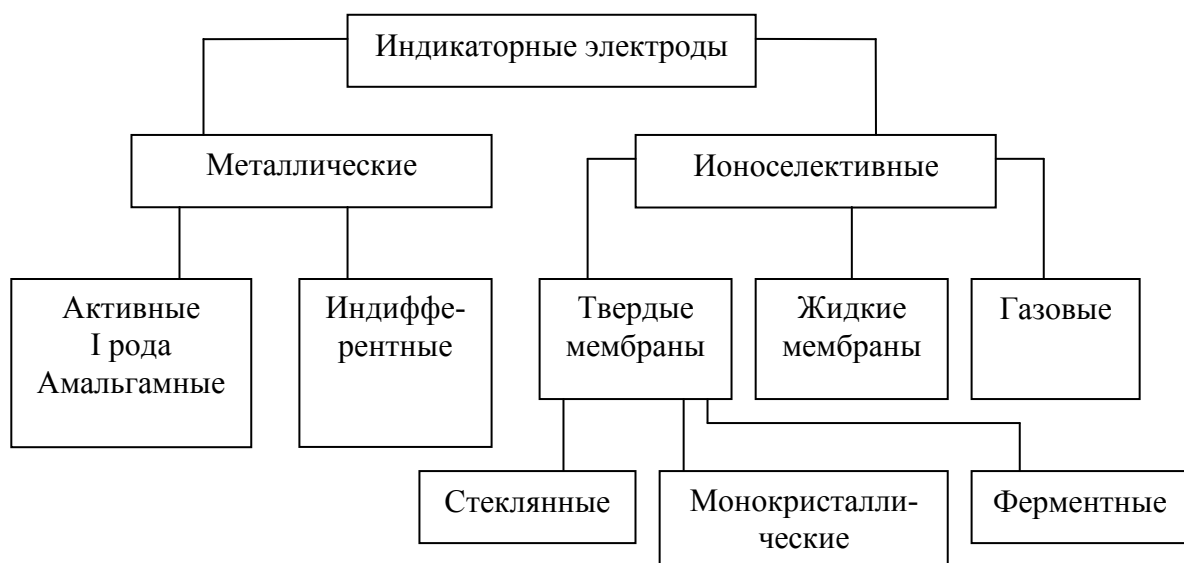
$$E = E_{\text{Ox/Red}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{a(\text{Ox})}{a(\text{Red})}$$

где E^0 - стандартный электродный потенциал, В; 0,059 - константа, включающая универсальную газовую постоянную R , абсолютную температуру и постоянную Фарадея (F); n - число электронов, принимающих участие в электродной реакции, $a(\text{Ox})$ и $a(\text{Red})$ - активность окисленной и восстановленного форм вещества соответственно.

Классификация электродов.

Для измерения электродвижущей силы применяют систему двух электродов - индикаторного и электрода сравнения.

Классификация индикаторных электродов представлена на рис .



Металлические электроды I рода - это металлическая пластинка или проволока, погруженная в раствор хорошо растворимой соли данного металла. Например, серебряная проволока, погруженная в раствор нитрата серебра. На поверхности электрода возникает двойной электрический слой, и устанавливается равновесный потенциал E , который зависит от активности Ag^+ в растворе:

$$E = E_{Ag^+/Ag}^0 + 0,059 \lg a_{Ag^+}$$

Металлические индифферентные электроды не участвуют в электрохимической реакции, а только обеспечивают перенос электронов для окислительно-восстановительной реакции, протекающей в растворе. Такие электроды представляют собой проволоку, пластину или сетку, изготовленную из инертных металлов (платина, золото, палладий), а также графит, погруженные в раствор, содержащий сопряженную редокс-пару. Потенциал такого электрода зависит от активности окисленной и восстановленной форм данной редокс-пары. Например, редокс-потенциал платинового электрода, погруженного в раствор, содержащий Fe^{+3} и Fe^{+2} :

$$E = E_{Fe^{+3}/Fe^{+2}}^0 + 0,059 \lg \frac{a_{Fe^{+3}}}{a_{Fe^{+2}}}$$

Ионоселективные электроды (ИСЭ) - сенсоры (чувствительные элементы, датчики), потенциал которых линейно зависит от $\lg a$ определяемого иона в растворе. Важнейшей составной частью ИСЭ является полупроницаемая мембрана, способная пропускать только определенные ионы. Мембраны изготавливаются из специальных сортов стекла, монокристаллов, органических полимеров, пленок ферментов, жидких ионообменников. На границе мембрана - раствор устанавливается равновесие обмена ионами и возникает разность потенциалов. Потенциал ИСЭ зависит от активности определяемого иона в анализируемом растворе a_1 и во внутреннем растворе электрода a_2 :

$$E = E_{ИСЭ}^0 + 0,059 \lg \frac{a_1}{a_2}$$

Наибольшее применение находит *стеклянный электрод*, селективный на H^+ . Он представляет собой тонкостенный стеклянный шарик (рис.11), заполненный стандартным 0,1 моль/дм³ раствором HCl или буферным раствором. Внутренний электрод - серебряная проволока, покрытая труднорастворимой солью AgCl. Устройство закрыто защитной трубкой. Мембрана изготовлена из алюмосиликатного стекла

Высокое содержание Na^+ в мембране способствует обмену ионами Na^+ мембраны и H^+ из раствора; на поверхности электрода устанавливается равновесие. Потенциал стеклянного электрода зависит от активности (концентрации) ионов H^+ в растворе:

$$E = K + 0,059 \lg[H^+] = K - 0,059 \text{ рН}$$

где K - константа, зависящая от сорта стекла и устройства электрода.

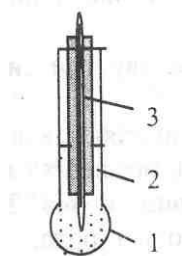


Рис.6.1. Стеклянный электрод: 1 -мембрана; 2 - стандартный раствор HCl; 3 - хлорсеребряный электрод

Преимущества рН-стеклянного электрода: электрохимическое равновесие устанавливается мгновенно; не адсорбирует поверхностно-активные вещества; применим в широком диапазоне рН; отсутствует влияние окислителей и восстановителей на работу электрода. Недостатки электрода: не рекомендуется применение при рН > 10 (нарушаются функции электрода), в присутствии плавиковой кислоты (стекло растворяется), кроме того, такой электрод весьма хрупок, что создает известные затруднения при его использовании.

Электроды II рода - системы, в которых металл электрода покрыт труднорастворимой солью этого металла и находится в растворе, содержащем хорошо растворимую соль с теми же анионами. Эти электроды обратимы относительно анионов, их потенциал зависит от активности анионов труднорастворимого соединения, входящего в состав электрода. Электроды II рода применяются, как правило, в качестве электродов сравнения (потенциал таких электродов при измерениях остается постоянным).

К электродам II рода относится хлорсеребряный электрод. Он представляет собой серебряную проволоку, покрытую труднорастворимой солью AgCl и погруженную в насыщенный раствор хорошо растворимой соли с одноименным анионом - KCl (рис. 12).



Рис.6.2. Хлорсеребряный электрод: 1 - серебряная проволока; 2 - AgCl;
3 - насыщенный раствор KCl; 4 - дренаж (асбестовое волокно)

Потенциал электрода при измерениях остается постоянным и не зависит от состава анализируемого раствора, т. к. внутренний раствор KCl насыщен, и концентрация Cl^- не изменяется. Если внутренний раствор KCl ненасыщен, электрод применяется как индикаторный для определения концентрации Cl^- .

Выбор индикаторных электродов зависит от природы определяемых ионов и типа химической реакции. В методе косвенной потенциометрии применяют реакции кислотно-основного и окислительно-восстановительного взаимодействия, комплексообразования и осаждения. В табл.10 приведены некоторые варианты выбора электродов при потенциометрическом титровании. В качестве электродов сравнения, как правило, применяют насыщенные электроды II рода.

Таблица 6

Выбор электродов для потенциометрических измерений

Тип реакции	Измеряемая величина	Электроды		Определяемые вещества
		Индикаторный	Сравнения	
Протолитометрия	pH	pH-стеклянный	Насыщенные электроды II рода (хлорсеребряный, каломельный)	Кислоты, основания, соли
Редоксиметрия	E	Индифферентные I рода (платиновый)		Окислители, восстановители
Комплексонометрия	pMe	Me-селективные		Me^{n+} ; $n > 1$
Осаждение	pAg, pCl, pI, pBr	Ионоселективные; ненасыщенные II рода; серебряный		Ионы, образующие осадки

По способу выполнения и расчета результатов анализа различают прямую потенциометрию (ионометрия) и косвенную (потенциометрическое титрование).

Прямая потенциометрия основана на непосредственном применении уравнения Нернста для определения активности или концентрации ионов по экспериментально измеренному потенциалу электрода. Концентрацию определяемых ионов находят одним из методов количественного анализа:

- ♦ метод градуировочного графика, который описывает зависимость разности потенциалов от логарифма концентраций $E = f(-\lg C)$ (рис.13);
- ♦ метод добавок.

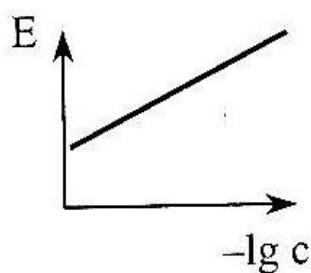


Рис.6.3. Градуировочный график в потенциометрии

Оборудование прямой потенциометрии. Для проведения прямого потенциометрического измерения необходимы: индикаторный электрод, электрод сравнения, прибор для измерения разности потенциалов между ними, ячейка с исследуемым раствором (рис.14).

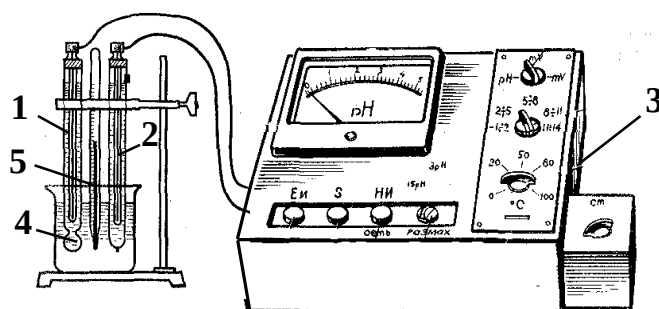


Рис.6.4. Установка для прямого потенциометрического измерения:

1 – стеклянный электрод, 2- хлорсеребряный электрод, 3- прибор для измерения разности потенциалов, 4- шарообразное расширение стеклянного электрода, 5 – термометр.

Потенциометрическое титрование относится к косвенным методам анализа, основано на установлении точки эквивалентности по резкому изменению потенциала индикаторного электрода при титровании. Титрант добавляют точно известными порциями и записывают показания прибора (E). По результатам титрования строят интегральную и (или) дифференциальную кривые титрования (рис.6.5). По графикам находят точку эквивалентности и выполняют расчет.

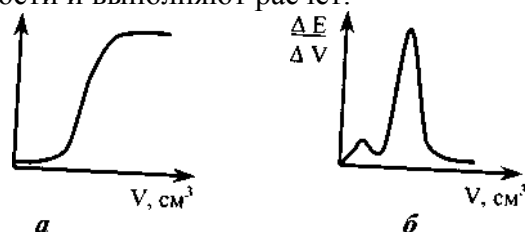


Рис.6.5. Интегральная (а) и дифференциальная (б) кривые-титрования смеси двух веществ

Установка для титрования. Для потенциометрического титрования необходимы индикаторный электрод, электрод сравнения, прибор для измерения разности потенциалов между ними, ячейка, бюретка с раствором титранта (рис.6.6).

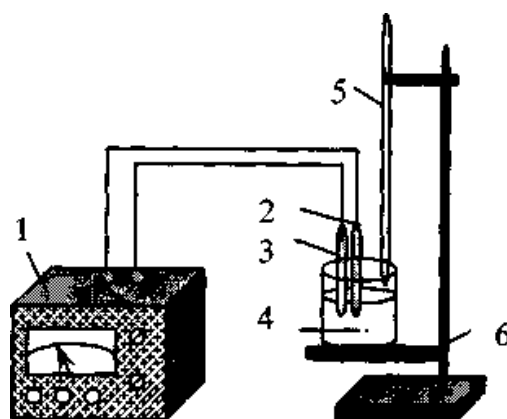


Рис.6.6. Установка для потенциометрического титрования:
1 - pH-метр; 2 - стеклянный электрод; 3 - электрод сравнения (хлорсеребряный); 4 - ячейка с раствором; 5 - бюретка; 6 – штатив

7.3. Вольтамперометрический и амперометрический методы анализа в экологии

Вольтамперометрия - группа методов, основанных на процессах электрохимического окисления или восстановления определяемого вещества, протекающих на микроэлектроде и обуславливающих возникновение диффузионного тока. Методы основаны на изучении вольтамперных кривых (вольтамперограмм), отражающих зависимость силы тока от приложенного напряжения: $I = f(E)$. Вольтамперограммы позволяют одновременно получить информацию о качественном и количественном составе анализируемого раствора, а также о характере электродного процесса.

В методах вольтамперометрии применяют двух- или трех-электродные ячейки. Индикаторные электроды - рабочие поляризуемые электроды, на которых протекают процессы электроокисления или электровосстановления вещества; электроды сравнения - электроды II рода (насыщенные хлорсеребряный или каломельный).

Если в качестве рабочего поляризуемого электрода применяют ртутный капающий с постоянно обновляющейся поверхностью, а электродом сравнения служит слой ртути на дне ячейки, то метод называется полярографией.

В современной вольтамперометрии применяют любые индикаторные электроды (вращающийся или стационарный платиновый или графитовый, стационарный ртутный), кроме капающего ртутного электрода.

Для проведения вольтамперного анализа к системе электродов прикладывают напряжение от внешнего источника тока. Изменяя напряжение, изучают зависимость силы диффузионного тока от приложенной разности потенциалов, которая описывается вольтамперограммой (рис.17а). График имеет форму волны и состоит из трех участков. Участок I - от начала регистрации аналитического сигнала до начала электрохимической реакции, через ячейку проходит остаточный ток ($I=10^{-7}$ А). Участок II - резкое увеличение тока за счет электрохимической реакции. Электроактивное вещество (деполяризатор) разряжается на микроэлектроде, вследствие чего концентрация деполяризатора в приэлектродном слое уменьшается. Ток поддерживается диффузией деполяризатора из объема раствора в приэлектродный

слой. Поэтому ток называется диффузионным. Участок III - диффузионный ток, достигнув предельного значения, остается практически постоянным, электрохимическая реакция завершена.

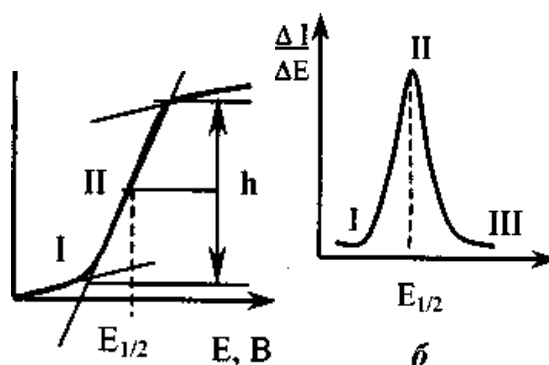


Рис.6.7. Вольтамперограммы: а - интегральная; б – дифференциальная

Для обеспечения достаточно высокой электропроводности раствора и предотвращения недиффузионных процессов (например, миграции ионов) в раствор добавляют фоновый (индифферентный) электролит, обычно это раствор соли щелочного или щелочноземельного металла.

Требования к фоновому электролиту:

- его концентрация должна в несколько раз превышать концентрацию деполаризатора;
- не должен окисляться или восстанавливаться при потенциале, при котором протекает электродная реакция.

Качественной характеристикой электроактивного вещества является потенциал полуволны ($E_{1/2}$), который находят графически по интегральной вольтамперограмме (метод трех касательных, рис.17а) или дифференциальной (перпендикуляр из середины пика на ось абсцисс, рис.17б).

Количественные определения основаны на пропорциональной зависимости между силой предельного диффузионного тока I (мкА) и концентрацией деполаризатора (c):

$$I = K \cdot c,$$

где K - константа, зависящая от природы определяемого иона и среды, температуры и характеристик электрода.

Количественной характеристикой деполаризатора является высота волны (h), которую измеряют непосредственно по вольтамперограмме методом касательных (рис.17а). Значение h соответствует высоте волны, вызванной током диффузии деполаризатора.

Методы количественного анализа:

- метод градуировочного графика, который описывает зависимость высоты волны от концентрации $h = f(c)$;
- метод стандартных растворов;
- метод добавок.
- *Амперометрическое титрование* основано на зависимости диффузионного тока от объема добавляемого титранта.

Метод амперометрического титрования более универсален, чем прямая вольтамперометрия, так как определяемое вещество не обязательно должно быть электроактивным. Важной отличительной особенностью амперометрического титрования по сравнению с другими методами вольтамперометрии (обязательна электроактивность определяемого вещества) является необходимость окисления или восстановления на электроде хотя бы одного из двух участников реакции или продукта их взаимодействия.

Взаимосвязь между вольтамперными кривыми и зависимостью предельного тока от объема титранта представлена на рис.18. Определяемое вещество окисляется или восстанавливается на микроэлектроде: чем выше концентрация деполяризатора, тем больше величина предельного диффузионного тока и высота волны (рис.18 а).

Если титровать деполяризатор при постоянном потенциале индикаторного электрода E' , соответствующем предельному диффузионному току, и построить график зависимости величины диффузионного тока от объема титранта, то получится кривая амперометрического титрования (рис. 6.8 б). Она состоит из двух линейных участков, пересечение которых соответствует точке эквивалентности.

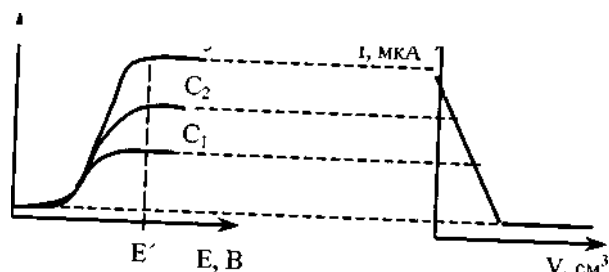


Рис.6.8. Вольтамперограмма (а) и кривая амперометрического титрования (б) электроактивного вещества с концентрацией $C_1 < C_2 < C_3$ при потенциале индикаторного электрода E'

Условия выполнения анализа:

- титрование проводят при постоянном потенциале, соответствующем предельному диффузионному току деполяризатора ($E = \text{const}$);
- в раствор добавляют фоновый электролит, концентрацию и природу которого подбирают предварительно;
- для регистрации аналитического сигнала необходима система двух электродов - рабочего (поляризуемого) микроэлектрода и электрода сравнения (неполяризуемого);
- скорость перемешивания раствора должна быть постоянной.

Вид кривой амперометрического титрования зависит от электрохимической активности определяемого вещества и титранта или продукта их взаимодействия, а также от приложенного потенциала.

• Если определяемое вещество электроактивно (окисляется или восстанавливается), а титрант индифферентен, то на микроэлектроде сразу возникает ток, который при титровании уменьшается, так как вещество вступает во взаимодействие с титрантом, электродная реакция идет в меньшей степени. По окончании химической реакции ток остается постоянным, поскольку титрант на электроде не разряжается (рис.6.9 а).

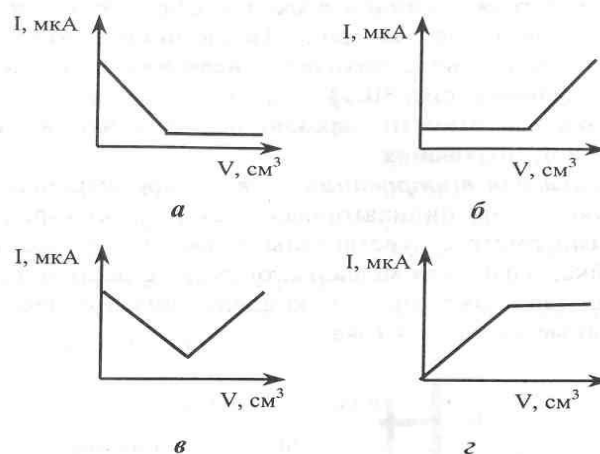


Рис. 6.9. Кривые амперометрического титрования: электроактивны а - определяемое вещество; б - титрант; в - определяемое вещество и титрант; г - продукт реакции

- Если определяемое вещество индифферентно и не разряжается на электроде, подбирают электроактивный титрант. До точки эквивалентности титрант расходуется на реакцию с определяемым веществом, сила тока остается постоянной. Избыток титранта разряжается на электроде, поэтому возникает диффузионный ток, который увеличивается с повышением концентрации титранта (рис. 6.9 б).

- Если электроактивны и определяемое вещество, и титрант, то при заданном потенциале электрода до точки эквивалентности ток уменьшается вследствие электродной реакции определяемого вещества. После окончания реакции диффузионный ток увеличивается, так как на электроде разряжается титрант (рис. 6.9 в).

- Определяемое вещество и титрант индифферентны, но электроактивен продукт их взаимодействия. В начальной точке титрования ток отсутствует. При прибавлении титранта сила диффузионного тока увеличивается, т.к. образующийся продукт реакции разряжается на электроде. После достижения точки эквивалентности в растворе находятся неактивные вещества, ток остается постоянным (рис. 6.9 г).

Точку эквивалентности находят по пересечению линейных участков кривой титрования.

Установка для титрования. Для амперометрического титрования необходимы индикаторный электрод, электрод сравнения, микроамперметр с чувствительностью 10^{-7} А, электролитическая ячейка, магнитная мешалка, бюретка с раствором титранта (рис.7). Цепь, состоящая из конденсатора и сопротивления, гасит случайные колебания тока.

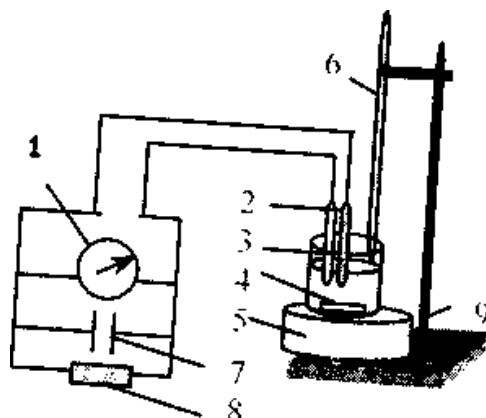


Рис. 7. Установка для амперометрического титрования: 1 -микроамперметр; 2 - платиновый электрод; 3 - электрод сравнения; 4 - ячейка с раствором; 5 - магнитная мешалка; 6 - бюретка с титрантом; 7 - конденсатор; 8 -сопротивление; 9- штатив

- Для амперометрического титрования применяются два электрода: платиновый электрод (стационарный или вращающийся с постоянной скоростью) в качестве рабочего (индикаторного) и хлорсеребряный как электрод сравнения. Индикаторный электрод представляет собой платиновую проволоку, запаянную в стеклянную трубку (точечный платиновый электрод).

7.4.Прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование-экспрессные методы определения минерализации природных вод и засоленности почв

Кондуктометрический метод основан на изменении электрической проводимости растворов в зависимости от концентрации присутствующих заряженных частиц. Объекты анализа - растворы электролитов.

Электрическая проводимость (электропроводность W , Ом^{-1} или См) - способность веществ проводить электрический ток под действием внешнего источника электрического поля; эта величина обратна электрическому сопротивлению:

$$W = \frac{1}{R},$$

где R - сопротивление раствора, Ом .

Различают удельную и эквивалентную электропроводность.

Удельная электропроводность χ ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ или $\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$) – проводимость 1 см^3 раствора, помещенного между двумя электродами с площадью поперечного сечения 1 см^2 и расстояние между которыми 1 см . Удельная электропроводность зависит от концентрации раствора, заряда ионов, скорости их движения, температуры раствора и природы растворителя.

Эквивалентная электропроводность λ ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2/\text{моль-экв.}$) - проводимость раствора, содержащего 1 моль-экв. вещества, помещенного между двумя параллельными электродами с площадью поперечного сечения 1 см^2 , расстояние между которыми 1 см . Зависимость между удельной и эквивалентной электропроводностью описывается уравнением:

$$\lambda = \chi \cdot 1000/c$$

где c - концентрация раствора, моль/дм^3 .

По способу выполнения анализа различают прямую кондуктометрию и косвенную (кондуктометрическое титрование).

Прямая кондуктометрия основана на непосредственной зависимости удельной электропроводности от концентрации ионов в растворе. По градуировочному графику находят концентрацию индивидуальных веществ в разбавленных растворах, где сохраняется линейность зависимости $\chi = f(c)$. Несмотря на высокую точность, метод не нашел широкого применения в аналитической практике. Метод не селективен, поскольку электропроводность - аддитивная величина (сумма электропроводностей всех ионов в растворе), поэтому даже незначительные примеси искажают результаты анализа. Метод применяется для анализа растворов индивидуальных электролитов, а также для нахождения общего содержания электролитов в образце (например, при анализе содержания солей в водной почвенной вытяжке).

Кондуктометрическое титрование - метод анализа, в котором точку эквивалентности устанавливают по резкому изменению электропроводности при титровании. Применение титранта, способного взаимодействовать только с определяемым ионом, повышает селективность метода. Точку эквивалентности находят по кривой титрования $\chi = f(V)$.

Применяют четыре типа реакций - кислотно-основного и окислительно-восстановительного взаимодействия, комплексообразования и осаждения. Вид кривой титрования зависит от природы взаимодействующих электролитов и подвижности ионов в растворе.

Условия выполнения анализа.

- Для регистрации аналитического сигнала (сопротивления) применяют два одинаковых платиновых электрода.
- Для расчета удельной электропроводности необходимо знать константу электролитической ячейки. Она зависит от формы ячейки, ее геометрических размеров, объема раствора, природы растворителя, температуры, площади электродов, расстояния между ними, а также материала, из которого они изготовлены. Константу ячейки находят экспериментально, поэтому при измерениях все указанные параметры должны быть строго постоянны.
- Электропроводность раствора зависит от температуры и увеличивается на 2 % при повышении температуры на 1 °С, по этому при измерениях обязательно термостатирование кондуктометрической ячейки.
- Скорость перемешивания раствора должна быть постоянной.

Установка для определения электропроводности. Схема установки для кондуктометрического титрования представлена на рис. 8.

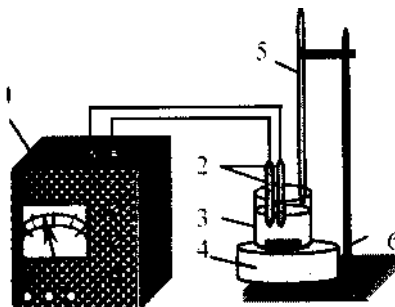


Рис. 8. Схема установки для кондуктометрического титрования:

- 1 - прибор для измерения сопротивления (мост Уитстона); 2 - платиновые электроды; 3 - ячейка; 4 - магнитная мешалка; 5 - бюретка с титрантом; 6 - штатив

Измерение электропроводности растворов электролитов практически сводится к измерению их сопротивления. Наибольшее лишение имеет метод, основанный на применении переменного тока. Измерение проводят по схеме моста Уитстона (рис.22). Он состоит из четырех сопротивлений: измеряемого сопротивления ячейки $R_{я}$, магазина сопротивлений R и двух сопротивлений реохорда R_1 и R_2 .

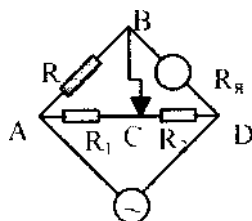


Рис. 9. Схема моста Уитстона для измерения сопротивления

Ток от источника поступает в точку А, где разветвляется к точкам В и С, через точку D возвращается к источнику. Гальванометр показывает ток между точками В и С. С помощью реохордного моста подбирают такое соотношение между переменными сопротивлениями R_1 и R_2 , чтобы ток между точками В и С отсутствовал. Тогда сопротивление ячейки $R_{я} = R (R_2 / R_1)$.

Электроды. Применяется система двух одинаковых платиновых электродов. Материал электродов существенно влияет на сопротивление раствора. При измерениях это влияние должно быть сведено к минимуму. Платина характеризуется наименьшим поляризационным сопротивлением, поэтому снижает поляризацию раствора и электродов.

7.5. Обзор хроматографических методов анализа объектов окружающей среды

Хроматографические методы разделения, идентификации и количественного определения основаны на различных скоростях движения отдельных компонентов в потоке подвижной фазы (ПФ) вдоль слоя неподвижной фазы (НФ), причем анализируемые вещества находятся в обеих фазах. Эффективность разделения достигается за счет многократно повторяющихся циклов сорбция-десорбция. При этом компоненты по-разному распределяются между ПФ и НФ в соответствии с их свойствами, в результате происходит разделение.

Основные преимущества хроматографических методов:

- возможность разделения близких по свойствам веществ;
- высокая эффективность разделения, экспрессность, воспроизводимость, универсальность, возможность автоматизации;
- возможность идентификации соединений и изучения их физико-химических свойств;
- высокая чувствительность, широкий предел определяемых концентраций веществ;
- возможность сочетания с другими физико-химическими методами анализа;
- применимость для контроля и автоматического управления технологическими процессами.

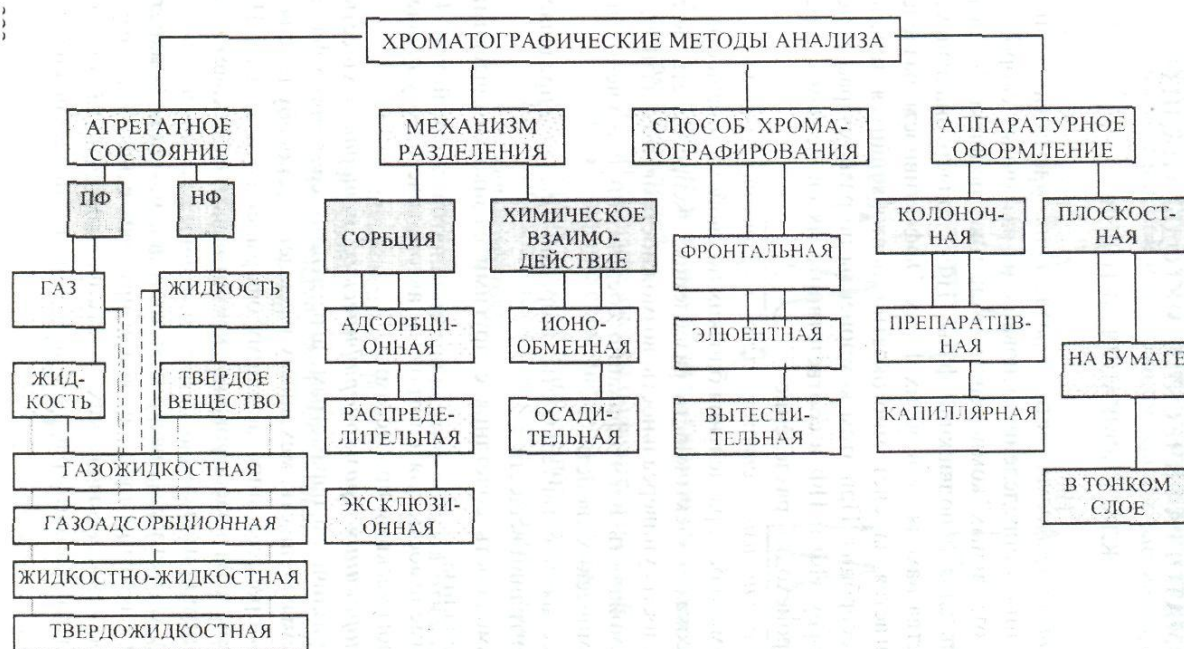


Рис. 10. Классификация хроматографических методов анализа

Классификации хроматографических методов осуществляется по различным параметрам: агрегатному состоянию фаз и анализируемых веществ, механизму разделения, способу и целям проведения процесса, аппаратному оформлению и другим. На рис. 25 приведена классификация хроматографических методов по важнейшим признакам.

Выбор хроматографического метода для решения конкретной задачи зависит от природы анализируемых веществ, их агрегатного состояния, физических и химических свойств.

7.6. Газовая хроматография в анализе ООС

Газовая хроматография - метод разделения летучих термостабильных соединений, основанный на распределении веществ между фазами, одна из которых - газ, другая - твердый сорбент (газоадсорбционная хроматография, ГАХ) или вязкая жидкость, закрепленная на твердом носителе (газожидкостная хроматография, ГЖХ). Газ, с помощью которого анализируемая смесь вводится в колонку, является элюентом. Разделение компонентов смеси происходит вследствие различной адсорбционной способности или растворимости анализируемых веществ при движении их газообразной смеси в колонке с потоком подвижной фазы вдоль неподвижной фазы.

Объекты анализа в газовой хроматографии - газы, жидкости и твердые вещества с молекулярной массой $M_r < 400$ и температурой кипения $-300\text{ }^{\circ}\text{C}$. При хроматографическом разделении анализируемые соединения не должны подвергаться, деструкции.

Особенность ГАХ состоит в том, что в качестве неподвижной фазы применяют адсорбенты с высокой удельной поверхностью. Распределение веществ между подвижной и неподвижной фазами определяется процессом адсорбции. Адсорбция молекул из газовой фазы происходит за счет межмолекулярного взаимодействия,

имеющего электростатическую природу. В качестве адсорбентов в методе ГАХ применяют активированные угли, силикагели, оксид алюминия, полимерные соединения (полисорб, хромосорб, порapak).

К адсорбентам предъявляются следующие требования:

- широкие пределы удельной поверхности,
- селективность по отношению к определяемым компонентам смеси,
- химическая инертность,
- химическая и геометрическая однородность,
- механическая прочность.

В аналитической практике чаще применяют метод ГЖХ. Механизм распределения компонентов смеси между газом-носителем и неподвижной жидкой фазой основан на их избирательной абсорбции тонкой пленкой жидкости, закрепленной на инертном твердом носителе. Компоненты анализируемой смеси в соответствии с коэффициентами распределения K_p селективно удерживаются неподвижной фазой. Коэффициент распределения - отношение концентрации вещества в неподвижной жидкой фазе к его концентрации в подвижной фазе:

$$K_p = c_{нф} / c_{пф}$$

В соответствии с K_p компоненты смеси перемещаются по колонке с различной скоростью. Чем лучше вещество растворяется в неподвижной жидкой фазе, тем выше K_p и меньше скорость движения вещества, тем дольше оно удерживается в колонке.

Известно более 100 жидких фаз. Неподвижная жидкая фаза должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать селективность разделения за счет различной растворимости компонентов смеси;
- иметь небольшую вязкость;
- быть химически инертной;
- образовывать равномерную пленку на носителе.

Различают жидкие фазы трех типов: неполярные (насыщенные углеводороды), умеренно полярные (сложные эфиры, нитрилы) и полярные (полигликоли, гидроксилamines).

Выбор газа-носителя обусловлен эффективностью хроматографической колонки, чувствительностью и принципом действия детектора.

Газ-носитель должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать эффективное разделение компонентов смеси;
- соответствовать чувствительности и типу детектора;
- быть химически и адсорбционно инертным по отношению к разделяемым веществам, материалу колонки и детектора:

- быть химически чистым.
- В качестве подвижной фазы применяют гелий, азот, аргон, водород (в момент образования), углекислый газ, воздух.

Система ввода пробы должна обеспечивать высокую точность ввода пробы, минимальный вклад в размывание пиков, хорошую воспроизводимость. Пробу вводят в испаритель (устройство для испарения пробы) микрошприцем через самоуплотняющуюся мембрану или специально встроенными кранами.

Хроматографические колонки изготавливают из нержавеющей стали, меди, бронзы, стекла, кварца. Материал колонки должен быть инертным по отношению к определяемым веществам. Колонки могут быть U- и W-образные, спиралевидные,

прямые. Выбор формы зависит от условий анализа. Различают насадочные (диаметр $d=3-6$ мм, длина l до 10 м), микронасадочные ($d = 0,2-2$ мм, $l - 10-30$ м) и капиллярные ($d = 0,001-0,2$ мм, $l = 100$ м) колонки. Насадочные и микронасадочные колонки заполняют адсорбентом (ГАХ) или сорбентом, поверхность которого обработана вязкой жидкостью - неподвижной фазой (ГЖХ). Капиллярные колонки применяются только в газожидкостном варианте, носитель неподвижной фазы - стенки колонки.

Газ с разделенными компонентами на выходе из колонки называется *элюатом*. Элюат поступает в систему детектирования.

Детектор регистрирует в потоке газа-носителя разделенные компоненты смеси и преобразует количество и качество выходящих из колонки газов в определенный аналитический сигнал. Отличают интегральные и дифференциальные, потоковые и концентрационные детекторы. Наиболее распространены катарометр, детекторы пламенно-ионизационный и электронного захвата.

Катарометр - универсальный детектор, действие которого основано на сравнении теплопроводности двух газовых потоков: газа-носителя и смеси газа-носителя с анализируемым компонентом.

Пламенно-ионизационный детектор наиболее чувствителен; его действие основано на ионизации органических горючих веществ в воздушно-водородном пламени и измерении величины ионного тока.

Работа детектора электронного захвата основана на ионизации газа-носителя электронами. Определяемое соединение захватывает электроны, ионизационный ток детектора уменьшается.

Система регистрации сигнала. Электрический сигнал через усилитель поступает на регистрирующий прибор (самопишущий потенциометр). Показания детектора регистрируются в виде хроматограмм. В систему детектирования может быть включен электронный интегратор, измеряющий параметры хроматографических пиков.

Хроматограмма - графическая зависимость сигнала детектора от времени. Основные характеристики хроматограммы - объем (время) удерживания, высота и площадь пика (рис. 11).

Идентификация. Качественной характеристикой хроматограммы является объем или время удерживания. Объем удерживания ($V_{уд.}$) – это объем газа, прошедший через колонку с момента ввода пробы до максимального выхода компонента из колонки. Время удерживания ($\tau_{уд.}$) – время от момента ввода пробы до максимума пика на хроматограмме. Объем удерживания рассчитывают по времени удерживания:

$$V_{уд.} = \tau_{уд.} \cdot v,$$

где v - объемная скорость газа-носителя, $см^3/с$.

Время удерживания зависит от природы вещества, природы и типа сорбента, температуры колонки и испарителя, размеров колонки, природы и скорости газа-носителя.

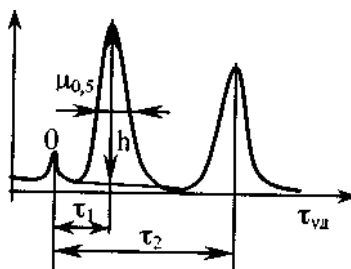


Рис. 11. Дифференциальная хроматограмма: $\tau_{\text{уд}}$ – время удерживания вещества; h – высота пика; $\mu_{0,5}$ – ширина пика, измеренная на середине высоты; 0 – момент ввода пробы

В основе идентификации веществ находятся:

- сравнение времени удерживания определяемого компонента и стандартного вещества при условии, что анализ выполнен в строго идентичном режиме;
- сопоставление времени удерживания определяемого компонента с табличными данными;
- применение веществ-тестеров, их добавление к пробе увеличивает параметры хроматографического пика.

Количественный анализ. Количественные характеристики хроматограммы - высота и площадь поверхности пика. Площадь пика пропорциональна количеству вещества, ее рассчитывают как произведение высоты пика (h) и ширины ($\mu_{0,5}$), измеренной на середине высоты:

$$S = h \cdot \mu_{0,5}$$

Методы количественного определения

Метод нормировки. Рассчитывают площади всех пиков, сумму площадей пиков принимают за 100 %. Массовую долю каждого компонента в смеси (ω_i , %) вычисляют по формуле:

$$\omega_i = S_i \cdot 100 / \sum_{i=1}^n S_n$$

где S_i – площадь пика определяемого компонента, мм^2 ; $\sum_{i=1}^n S_n$ – сумма площадей всех пиков, мм^2 .

Метод абсолютной градуировки. Для серии стандартных растворов в идентичных условиях получают хроматограммы и рассчитывают площади пиков. Строят градуировочный график в координатах $S = f(c)$. По хроматограмме анализируемого вещества рассчитывают площадь пика и по градуировочному графику находят его концентрацию. Этот метод наиболее пригоден для серийных анализов.

Метод внутреннего стандарта. В анализируемую пробу вводят известное количество стандартного вещества, образующего на хроматограмме отдельный пик. Измеряют параметры пиков - стандартного и анализируемого веществ, рассчитывают площади пиков. Массовую долю компонента в пробе (ω , %) вычисляют по формуле:

$$\omega_i = (S_i / S_{\text{ст}}) \cdot \Gamma \cdot 100$$

где S_i и $S_{\text{ст}}$ - площади пиков анализируемого и стандартного веществ, соответственно, мм^2 ; Γ - отношение массы стандарта к массе пробы.

7.7. Применение хроматографии для определения микроколичеств пестицидов

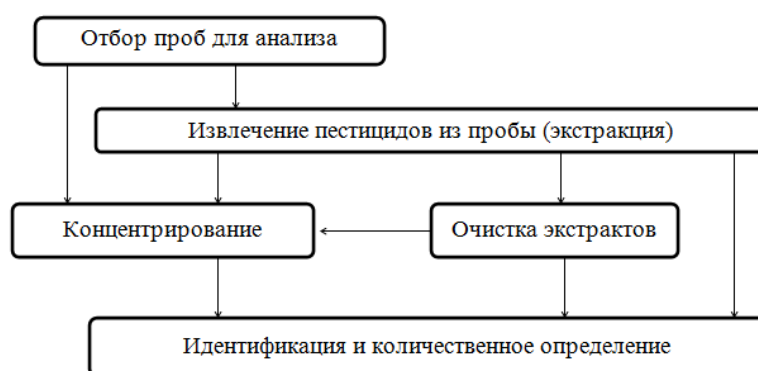
Экологические последствия использования пестицидов, их отрицательное влияние на человека и окружающую среду достаточно часто освещаются как в научной, так и в научно-популярной литературе. Одно из мероприятий, направленных на обеспечение безопасного применения этих веществ - контроль за содержанием пестицидов в сельскохозяйственной продукции, кормах и внешней среде.

В соответствии с законодательными актами контроль за содержанием пестицидов в нашей стране возложен на контрольно-токсикологические лаборатории (КТЛ) станций

защиты растений, отделы токсикологии проектно-изыскательных станций химизации сельского хозяйства, санитарно-эпидемиологические станции (лаборатории), экологические центры.

Официальные методы количественного определения пестицидов приведены в справочнике «Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде».

В соответствии с «Положением о регистрационных испытаниях пестицидов в Российской Федерации» (1995 г.) разработка, адаптация и апробация методов определения микроколичеств пестицидов были поручены 12 институтам, в том числе Всероссийскому научно-исследовательскому институту защиты растений (ВИЗР). Количественное определение пестицидов в различных объектах, как показано на схеме, состоит из нескольких последовательных этапов.



7.8. Правила отбора проб растений, сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, кормов, почвы, воды для определения микроколичеств пестицидов

Для получения с помощью лабораторного анализа достоверных данных о содержании микроколичеств пестицидов в растительных объектах, а также в почве и воде следует строго соблюдать правила отбора проб для исследования.

Высокая ответственность этого этапа исследовательской работы объясняется тем, что ошибки, допущенные при отборе проб могут привести к искаженным результатам и неправильной оценке исследуемых образцов даже при самых точных аналитических методах исследования.

При отборе, составлении и подготовке проб для анализа следует учитывать прежде всего возможную неравномерность опрыскивания или внесения пестицидов в почву при защите сельскохозяйственных культур, а также многообразие и неоднородность свойств культур и сортов, химический состав которых подвержен значительным изменениям. Условия выращивания неодинаково изменяют химический состав растений. Химический состав растений, почвы или воды влияет не только на качество и экстракционную способность искомого соединения, но и на количество и качество веществ, от которых необходимо избавляться. Таким образом, анатомо-морфологические, физиолого-биохимические особенности растений, агроклиматические условия их выращивания необходимо учитывать при отборе проб и подготовке для анализа. Аналогично при отборе проб почвы и воды открытых водоемов следует учитывать их физико-химические и другие показатели.

Отбор средних проб и подготовка их к анализу

Культурные растения представлены многообразными и неоднородными по своим свойствам сортами и культурами, химический состав которых подвержен значительным изменениям. Условия выращивания неодинаково изменяют химический состав растений. Свойства растений (анатомо-морфологические, физиолого-биохимические) так же, как и агроклиматические условия их выращивания, в значительной мере влияют на динамику отложений и превращение токсикантов. Отсюда понятно исключительное значение методов отбора, составления и подготовки проб для анализа. Отбор и составление проб зависит не только от объекта, но и от задачи, которую разрешает каждый конкретный анализ.

Необходимым условием для правильной характеристики образца на содержание в нем токсиканта является правильное взятие средней пробы и подготовка ее к анализу. Этому вопросу должно уделяться особое внимание, так как средняя проба составляется в зависимости от условий опыта, особенностей объекта и величины образца.

Главная цель отбора проб заключается в том, чтобы анализируемый образец достоверно характеризовал исследуемую сельскохозяйственную продукцию, корма, а также почву и воду на содержание пестицидов. В связи с этим проба должна быть тщательно отобранной, репрезентативной.

Анализ биологического материала, а также почвы и воды на содержание в нем микроколичеств пестицидов начинается с отбора средних проб. От способа отбора средних проб зависит правильность и достоверность результатов.

Для анализа остаточных количеств пестицидов пробы отбирают при уборке урожая. При изучении содержания пестицидов в растениях в динамике пробы отбирают в соответствии с рекомендуемым или предполагаемым «сроком ожидания» - временем от обработки до сбора урожая, когда не ожидаются пестициды или их количество находится на уровне МДУ или ПДК.

Конкретные дни отбора проб представлены в таблице.

Таблица 7

Сроки отбора растительных проб

«Срок ожидания» (дни)	Срок отбора проб (дни)
Два дня	0, 1, 2, 3, 4
Три дня	0, 1, 2, 3, 5
Семь дней	0, 3, 5, 7, 10
Десять дней	0, 4, 8, 10, 12
Пятнадцать дней	0, 5, 10, 15, 20
Двадцать один день	0, 7, 14, 21, 28
Тридцать дней	0, 10, 20, 30, 40
Сорок дней	0, 14, 28, 40, 50
Пятьдесят дней	0, 20, 35, 50, 60
Шестьдесят дней	0, 20, 40, 60, 70
Более шестидесяти дней	в день уборки урожая

(0 – день обработки, образцы берут через 2-3 часа после обработки)

Пункты отбора проб растительного материала

При исследовании скорости разрушения пестицидов в различных сельскохозяйственных культурах или почвах обработанных полей пробы отбирают на производственных посевах или посадках, размер которых может достигать нескольких

гектаров, или на делянках производственно-лабораторных и лабораторно-полевых опытов, размер которых должен быть не менее 10 м². Одновременно с этих делянок отбирают пробы и на остаточные количества пестицидов.

Технология отбора проб

Отбор проб складывается из нескольких этапов:

- отбора выборок, выемок, разовых проб;
- составления исходного образца, общей пробы, средней пробы;
- составления среднего образца;
- выделение навесок для анализа.

Способ отбора проб зависит от места отбора, от обработанной пестицидом площади, формы материала от которого берется проба (сыпучий, соломоподобный, крупногабаритный - арбузы, капуста и т.п.), от назначения (на остаточные количества, на скорость разрушения пестицидов).

От вегетирующих растений пробы отбирают по диагоналям полей или делянок. Для площадей до 1 га в 7-10 точках находящихся на равных расстояниях отбирают пробы растений в количестве достаточном для получения исходного образца. При больших площадях (свыше 1 га) отбор проб производится по системе конверта: двойного, тройного и т.д.

Средние пробы семян зерновых, масличных, бобовых культур и др.

Отбор проб с мелкоделяночных посевов (10-20 м²) Для характеристики семян образцов на содержание пестицидов следует иметь данные в среднем из двух повторностей. Урожай семян (зерна) перемешивают, делят по объему на две части, рассыпают на бумагу, подравнивают в квадрат и делят по диагонали на четыре части. Семена, заключенные в двух противоположных треугольниках, собирают и, если необходимо, повторяют деление по способу «квадрата». Таким образом, отбирают пробу весом около 200 г. Дальнейшее деление допускается, когда зерно грубо размельчено. Необходимо, чтобы средняя проба семян пропашных культур была собрана не менее чем с 20-25 растений.

Отбор средней пробы проб с крупных площадей (до 1 га) может быть сделан одним из следующих приемов:

а) Семена после обмолота тщательно перелопачиваются, их рассыпают равномерным слоем на брезенте и по диагоналям через равные промежутки в 10-12 местах берут совком пробы, которые ссыпают в один пакет. Отобранная таким образом проба в некоторых случаях может весить несколько килограммов. Такую пробу методом «квадрата» уменьшают до 200-300 г. Последнюю пробу не следует делить без предварительного грубого измельчения семян. Из грубо измельченного материала берут навески 10-50 г.

б) Семена берут совком из каждого мешка по 500-700 г в один пакет, а затем их делят так, как указано выше, до 200-300 г. Вес средней пробы крупносемянных растений должен быть не менее 400-500 г.

Семена хлопчатника трудно перемешиваются, поэтому среднюю пробу лучше отбирать из различных мест, разложенных ровным слоем семян на брезенте, а в поле - с разных растений.

Средние пробы овощей

Плоды или клубни следует брать с растений через 6-10 экземпляров (для томатов, перца, баклажана, картофеля и др.), бахчевые - через 3-5 растений. Должно быть проанализировано 10 растений, но предпочтительно брать 20 растений.

В состав средней пробы берут весь урожай растения (корнеплодные, луковые, капуста), у которых урожаем является один исследуемый орган. В средние пробы картофеля берут половину клубней от каждого растения.

Отбор проб с небольших делянок осуществляется следующим образом: средняя проба составляется из урожая не менее чем от 10 растений, с каждого растения берут по 2-3 плода многоплодных культур (томаты, перец, картофель и др.). Общий вес средних проб должен быть не менее 1 кг. Если плоды, клубни, корнеплоды мелкие, то число растений или плодов, отбираемых с одного растения, увеличивают.

С крупных площадей среднюю пробу берут так же, как указано выше. Если имеются повторности, то проба составляется из двух, причем для каждой повторности необходимо собрать урожай не менее чем с 20 растений. При выборе растений для средней пробы делянку делят двумя диагоналями, и сбор урожая проводят с растений, расположенных по диагоналям (исключая бракованные растения).

Общая величина средней пробы должна быть не менее 3 кг (для крупноплодных - не менее 10 кг) и должна состояться для томатов и картофеля не менее чем из 40-50 плодов или клубней, для перца - из 60-80 стручков, огурцов, кабачков - 35-40 плодов, лука и чеснока - 25-30 луковиц; бахчевых и капусты - 20 плодов или кочанов. Вес средней пробы листовых овощей должен составлять не менее 1,5 кг.

Отобранная средняя проба некоторых объектов слишком громоздка и для анализа нет нужды измельчать всю среднюю пробу, поэтому из нее составляют меньшую по объему и весу лабораторную пробу. Для капусты, например, берут только по четверти или меньшей части от каждого кочана. У листостебельных растений обрывают листья с одной стороны растений. Отобранные части грубо измельчают. Измельченный материал после тщательного перемешивания рассыпают в кювете и разделяют по диагоналям на 4 равные части. Берут два противоположных треугольника, перемешивают и, если нужно, повторяют деление таким же образом.

Средние пробы кормовых растений

На мелкоделяночных посевах срезают от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ куста и не менее чем с 10 растений в разных местах делянки. Злаковые срезают целиком. Другой прием сбора проб состоит в том, что по диагонали срезают не менее 10 растений через одинаковые интервалы или через один рядок на делянке. Вес средней пробы кормовых растений должен быть 200-300 г.

Пробы растений с более крупных площадей отбирают со всех повторностей опыта. На каждой повторности по диагонали срезают по $\frac{1}{4}$ куста от 10—15 растений. В дальнейшем для анализа поступают пробы от каждой повторности или средняя проба со всех повторностей.

Сбор растений на значительных площадях рядового и гнездового посевов производят по двум диагоналям участка. По каждой диагонали через равные промежутки срезают по $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{4}$ куста от каждых 10-15 растений, что составит пробы 20-30 растений. Для уменьшения веса таких растений, как кукуруза, кормовая капуста, каждое растение разрезают вдоль на две части, одну из которых употребляют для анализа. Дальнейшее деление пробы допускается только после измельчения всех проб на отрезки длиной 1,5-2 см. Общий вес средней пробы должен быть 1,0-1,5 кг.

Средние пробы листьев древесных и кустарниковых пород

Отбор проб (листья яблони, винограда и др.) на больших площадях производится с каждой повторности по диагонали через определенные промежутки с 10-15 деревьев. Берут листья с трех ярусов, с четырех сторон каждого дерева, не менее 50 листьев.

Отбор проб с небольших делянок производится с каждого дерева с учетом ярусов и освещенности растения.

Средние пробы плодов и ягод

Если вариант опыта представлен 3-5 деревьями, то необходимо брать по 15-20 плодов, отобранных из общего урожая дерева, куда должны войти крупные, мелкие и средние, а также плоды с освещенной и затененной частей дерева (с разных ярусов кроны). Общий вес средней пробы мелкоплодных (косточковых) плодов должен быть не менее 1 кг. Среднюю пробу урожая ягодных культур (земляники, малины, винограда) составляют, как правило, с 10 растений. Общий вес средней пробы ягод должен быть не менее 1 кг.

Средние пробы образцов почвы

Выбор места для взятия пробы почвы определяется целью исследования с учетом топографии местности, физического строения почвы и почвенного покрова.

Для отбора проб почвы на обследуемой территории площадью 0,5-1,0 га выделяются 4 - 6 и более участков в 25 м² каждый. При этом учитывается рельеф, интенсивность возможного загрязнения, строение почвы и ее покров.

Для каждого выделенного участка составляется исходный образец из индивидуальных проб, взятых в пяти точках по двум диагоналям участка или в четырех точках по краям и одной в центре.

Глубина отбора проб почвы зависит от цели исследования: для оценки поверхностного загрязнения почвы пробы берут на глубине 5-10 см, для этой цели из каждой намеченной точки участка выкапывают монолит толщиной 5-10 см и от него отделяют 200 - 300 г почвы для составления среднего образца. Для установления влияния загрязненной пестицидами почвы на содержание их в выращиваемых на данной почве культурах, или на миграцию пестицидов в грунт, пробы следует отбирать в одной и той же точке на различной глубине: 0-10 см, 10-20 см, 20-30 см и т.д., не смешивая пробу одного горизонта с другой. Для получения одной средней пробы с каждого уровня можно их смешать и, отобрав пробу весом 1 кг, поместить в один пакет.

Образцы почвенных проб из различных горизонтов берут специальным буром. При отсутствии бура делается разрез почвы (выкапывается яма нужной глубины) и ножом или лопатой забираются образцы почвы с отвесной стены ямы соответственно каждому образцу слоя.

При отборе проб из верхнего слоя почвы орошаемых участков (0,5-10 см) пользуются буром специальной конструкции. Пробы отбирают по двум диагоналям в специальные пакеты из водонепроницаемого материала не менее чем в 10 точках из каждого участка.

После отбора проб в пакеты и удаления лишней воды, пробы усредняют многократным перемешиванием вручную и раскатывают на «жгуты». При перемешивании из нее удаляют растительные остатки, корешки, камни и другие включения. От каждого «жгута» почвы отделяют примерно 1/10 часть для составления новой пробы, после чего вновь усредняют их до тех пор, пока не останется 1-2 кг почвы.

Отбор средних проб воды

Место и сроки отбора проб воды из рек, озер, водохранилищ и других водных объектов выбирают в зависимости от целей исследования источников загрязнения (стоки сельскохозяйственных угодий, промышленные стоки, авиаобработки водоемов и

т. д.), режима поступлений загрязнений, гидрологических характеристик водных объектов и химической природы исследуемого вещества.

Для установления влияния химической обработки пестицидами на качество воды в водоеме:

- при однократной обработке пробы отбирают до начала обработки, через 3 часа и на 3, 10, 20 день после обработки (при этом учитывается стойкость пестицида, применяемого для обработки). Дополнительно берут пробы воды и после сильного и длительного волнения воды в обследуемом водоеме.

- при многократных обработках одним и тем же препаратом отбор проб производят до обработки, на второй день после первой и последней обработки, через месяц и через два месяца после окончания обработки.

В поверхностном слое воды (0,2 - 0,5 м) в реках, озерах и водохранилищах пробы отбирают какой-либо большой емкостью (эмалированное ведро), которая во избежание загрязнения пробы должна употребляться только для этих целей, или набирают стеклянной бутылкой. Закрытую пробкой бутылку погружают в воду, повернув горлышком против течения, затем открывают пробку, бутылку заполняют водой. После наполнения бутылку закрывают пробкой, при этом уровень воды должен не доходить до пробки на 1-2 см. Если проба отобрана ведром, подготовленные для проб склянки наполняют водой через воронку.

Для взятия глубинных проб применяют батометры. Пробу воды с намеченной глубины отбирают батометром или бутылкой. В последнем случае бутылку закрывают прикрепленной на тросе (шнуре, веревке) пробкой. Бутылку устанавливают на намеченной глубине, пробку вынимают при помощи шнура. Пробу воды с небольшой глубины (особенно зимой) отбирают шестом с прикрепленной к нему бутылкой. Бутылку заполняется водой доверху. Перед закрытием бутылки верхний слой сливают так, чтобы под пробкой оставался небольшой слой воздуха.

Пробы воды для анализа пестицидов отбирают в стеклянную посуду безукоризненной чистоты, которую перед заполнением несколько раз ополаскивают исследуемой водой. Бутылки закрывают притертыми стеклянными или корковыми пробками. Употребление деревянных, резиновых и полиэтиленовых пробок не допускается.

Объем средней пробы должен составлять 2 литра. Для определения общего содержания пестицидов используют полностью весь объем нефilterованной пробы, и затем стенки сосуда несколько раз ополаскивают, взятым для экстракции органическим растворителем.

Подготовка материала для анализа

Как правило, пестициды следует определять в свежееотобранной пробе. Если в течение дня анализ произвести невозможно, пробы следует законсервировать. В качестве консерванта применяют органический растворитель, который используют в ходе определения (рекомендованный экстрагент). Целесообразно произвести экстракцию пестицидов на месте отбора проб и транспортировать в лабораторию экстракты в небольших склянках или колбочках. Экстракты хранят в холодильнике при температуре плюс 2-4°C.

Среднюю пробу, взятую в поле, готовят для анализа (измельчают или гомогенизируют) и берут определенную навеску.

Пробы зерна (семян) отделяют от различных примесей и измельчают. Измельчение производят на лабораторных мельницах, дающих грубый помол, а затем на мельницах типа «Пируэт» получают тонкий помол.

В случае необходимости исследовать содержание пестицидов в оболочке и ядре семян рекомендуется для обрушивания семян использовать размельчитель тканей. С помощью размельчителя можно снимать оболочку масличных (подсолнечник, хлопчатник), бобовых (горох, люпин) культур, а также труднообмолачиваемых зерновых (пшеница, овес, ячмень). При этом необходимо отрегулировать прибор так, чтобы ядра не разбивались. Это достигается регулировкой с помощью реостата скорости вращения ножа, а также положением и формой рабочей полоски ножа, продолжительностью работы размельчителя и постоянно одинаковыми навесками.

Пробы плодов и овощей перед анализом превращают в однообразное, измельченное состояние с помощью различных лабораторных размельчителей или кухонного комбайна, имеющего различные приспособления для размельчения. Средние пробы овощей и плодов, поступившие на анализ, предварительно очищают от загрязнений после просушивания их на воздухе. Если необходимо проанализировать семена груш и яблок от плодов, то их рекомендуется удалять при помощи сверла для пробок.

Для отделения косточек у вишни, сливы и др. плоды помещают и размельчитель тканей, и после того, как мякоть превратится в гомогенную массу, косточки отделяют, пропуская размельченную массу через редкое капроновое сито или через марлю. Для плодов цитрусовых, а также арбуза, дыни целесообразно анализировать отдельно кожуру и мякоть.

В специальных случаях, когда необходимо проанализировать отдельно от мякоти семена томатов, бахчевых, винограда и т. д. следует гомогенную массу протирать через сита из капрона.

Пробы кормовых растений, а также зеленую массу растений измельчают на стеблerezке или других режущих приспособлениях, а затем гомогенизируют.

Пробы всех растений измельчают быстро, лучше на холоде, и сразу приступают к их обработке, направленной к прекращению деятельности ферментов, метаболизирующих пестициды. С этой целью берут навеску и немедленно экстрагируют из них препараты.

Средние пробы почвы помещают в стеклянные банки или в пакеты из водонепроницаемой ткани и доставляют в лабораторию. В лаборатории почву высушивают до воздушно-сухого состояния, просеивают через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Для уменьшения веса среднюю пробу делят методом «квадрата».

Хранение образцов

Особое внимание следует обратить на хранение исследуемых проб. Как правило, в инструкциях рекомендуют помещать пробы в холодильник с достаточно низкой температурой (минус 10-30°C). Это связано с тем, что в биологических объектах пестициды вовлекаются в различные реакции.

Однако процессы превращения пестицидов в изолированных тканях могут продолжаться и в холодильнике, особенно в моменты замораживания и оттаивания они происходят наиболее интенсивно, так как в это время ферментные системы работают особенно активно, кроме того, на изменение пестицидов существенное влияние оказывают не только ферменты, но и условия среды (рН, аэрация, свет и т. д.), наличие реакционноспособных соединений, а также микроорганизмы. В связи с этим мы рекомендуем анализировать пробы первоначально фиксировать, исключение может составлять зерно и сено, если предстоит определять устойчивые пестициды, некоторые ХОИ. Фиксация заключается в добавлении к навеске органического растворителя в количестве превышающем объем, занятый навеской. Залитые органическим растворителем навески можно сохранить в холодильнике до следующего дня, однако

лучше провести экстракцию полностью сразу и хранить пробы в виде экстрактов, причем длительное хранение экстрактов даже в оптимальных условиях не рекомендуется. Длительность хранения экстрактов для каждого пестицида различна, например, для фосфорорганических инсектицидов время хранения не должно превышать 10 дней, а хлорорганических - несколько месяцев.

Экстракты хранят при температуре около 0 °С в темном месте, в склянках с притертыми пробками или навинчивающимися крышками с полиэтиленовыми прокладками. При транспортировке проб, если возможно, экстракты лучше предварительно сконцентрировать.

Документация

Все образцы, поступающие в лабораторию для анализа на содержание в них остатков пестицидов, должны быть хорошо упакованы (не следует помещать в полиэтиленовые мешочки) и правильно подписаны. Кроме того, каждый образец должен сопровождаться четким паспортом, в котором должно быть отражено:

1. Когда и откуда поступил образец.
2. Тип почвы (генетический, механический) на котором выращивали данную культуру и агротехнические условия.
3. Название растения.
4. Какой применяли пестицид.
5. Время обработки.
6. Форма препарата, способ обработки.
7. Дозировка применяемого препарата на 1 га (в кг препарата).
8. Концентрация применяемого рабочего состава.
9. Растворитель, на котором приготавлился рабочий состав для опрыскивания.
10. Расход рабочего состава на 1 га.
11. Число обработок.
12. За сколько дней до уборки проведено последнее опрыскивание.
13. Физиологическое состояние растений во время обработки, для молодых растений - сколько времени прошло со дня посева.
14. Погодные условия в день обработки (температура, влажность, солнечная радиация, сила ветра, направление ветра).
15. Погодные условия за время вегетации (при изучении динамики препаратов в обработанных растениях или почве).

На паспорте должна стоять подпись специалиста, взявшего образец в полевых условиях.

7.9. Ионообменная хроматография в анализе ООС

Ионообменная хроматография - метод разделения и анализа веществ, основанный на эквивалентном обмене ионов анализируемой смеси и ионообменника (ионита). Происходит обмен ионами между фазами гетерогенной системы. Неподвижной фазой являются иониты; подвижной, как правило, вода, т.к. этот элюент обладает хорошими растворяющими и ионизирующими свойствами. Соотношение концентраций обменивающихся ионов в растворе и в фазе сорбента (ионита) определяется ионообменным равновесием.

Иониты – полимеры природного и синтетического, органического и минерального происхождения, содержащие ионогенные группы. Иониты имеют разветвленную матричную структуру, в состав которой входят фиксированные ионы. В зависимости от

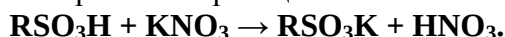
заряда иона матрица имеет положительный или отрицательный заряд, который компенсируется подвижными противоионами.

Наличие в матрице фиксированных ионов (гидрофильных групп) определяет основное физическое свойство ионитов - способность матрицы к набуханию. При этом смола превращается в полиэлектролит, объем ионообменника увеличивается в несколько раз.

В соответствии со свойствами и природой иониты классифицируются на следующие группы.

1. *Катиониты* – в состав матрицы входят фиксированные ионогенные группы кислотного характера: $-\text{SO}_3^-$; $-\text{PO}_3^{2-}$; $-\text{COO}^-$ и другие; противоионы – H^+ ; Na^+ ; K^+ и другие. Например, катионит КУ-2 – это сульфированный сополимер стирола и дивинилбензола RSO_3H в Н-форме, где R – матрица полимера.

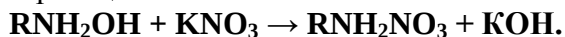
На катионите протекают гетерогенные реакции катионного обмена:



Элюат (раствор, выходящий из колонки) - раствор кислоты.

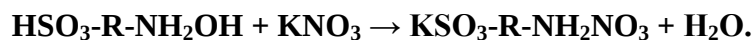
2. *Аниониты* - в составе матрицы находятся фиксированные аммонийные основания: $-\text{NH}_3^+$; $=\text{NH}_2^+$; $\equiv\text{NH}^+$ и другие; противоионы – OH^- ; Cl^- и другие. Например, анионит АН-1 имеет формулу RNH_2OH в ОН-форме.

На анионите протекают реакции обмена анионами:



Элюат - раствор щелочи.

3. Амфолиты - содержат одновременно группы кислотного и основного характера. На этих смолах протекают реакции обмена катионами и анионами:



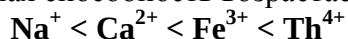
Элюатом является элюент (вода).

Перед анализом ионит переводят в активную (рабочую) форму: катионит в Н-форму, анионит в ОН-форму. Для этого через колонку пропускают раствор кислоты или щелочи соответственно.

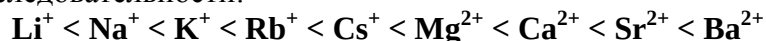
После ионообменной реакции элюат анализируют титриметрическими, электрохимическими, спектральными и другими методами.

Способность ионитов к ионному обмену количественно определяется обменной емкостью. *Полная динамическая обменная емкость* - количество моль-эквивалентов иона, поглощаемого 1 г сухого ионита (весовая емкость, моль-экв/г) или 1 см³ набухшей смолы (объемная емкость, моль-экв/см³).

Применение в анализе ионообменников позволяет проводить разделение и селективное определение ионов в смеси. Хроматографическое разделение ионов основано на их различной сорбционной способности по отношению к иониту. Экспериментально установлены ряды сродства ионов к ионообменникам. Для ионов с различными зарядами сорбционная способность возрастает с повышением заряда:



Ионы с одинаковым зарядом на сильнокислотных катионитах сорбируются в определенной последовательности:



Ряды селективности установлены и для анионообменников:



Для достижения селективности разделения ионов выбирают подходящую подвижную фазу и условия анализа (рН, концентрация, ионная сила и состав раствора).

Подготовка хроматографической колонки. Взвешивают $[(10-15) \pm 0,1]$ г ионообменной смолы, помещают в химический стакан, приливают дистиллированную воду так, чтобы она полностью покрыла слой смолы, и оставляют для набухания на 5-6 ч. Набухшую ионообменную смолу помещают в хроматографическую колонку, предварительно заполненную на 1/3 дистиллированной водой (рис. 13).

Перед анализом катионообменник переводят в активную Н-форму, анионообменник в ОН- или С1-форму. Для этого через колонку пропускают 100-200 см³ раствора хлороводородной кислоты (для подготовки катионита) или раствора гидроксида натрия (для перевода анионита в ОН-форму) с концентрацией 1,0 моль/дм³ со скоростью 1-2 капли/с. Катионит отмывают от избытка кислоты дистиллированной водой (200-300 см³) со скоростью пропускания 2-5 капли/с. Анионообменник активируют пропусканием 150 см³ раствора хлорида аммония с массовой долей 1,5 %.

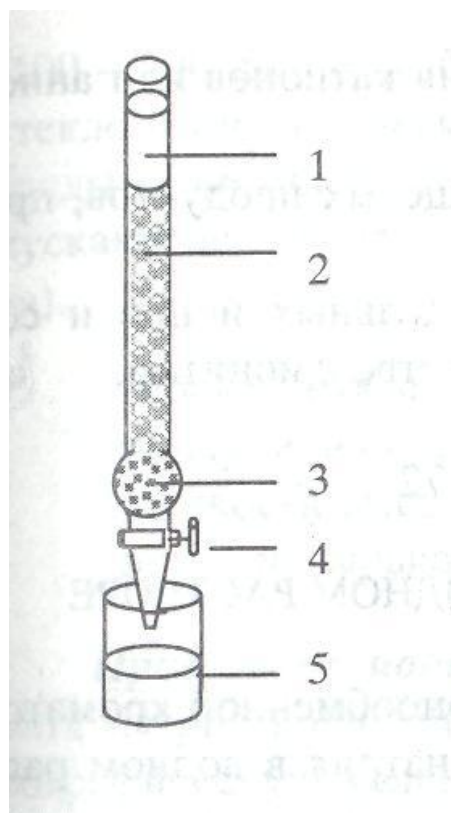


Рис. 13. Ионообменная колонка: 1 -стеклянная трубка; 2 - ионит; 3 -стеклянная вата или синтетическое волокно (дренаж); 4 - кран или зажим; 5 - стакан с элюатом

Готовность смолы к работе проверяют, измеряя pH раствора, вытекающего из колонки (индикатор - метиловый оранжевый или фенолфталеин). Ионит промывают до желтой окраски метилового оранжевого или до обесцвечивания фенолфталеина. Каждую последующую порцию жидкости приливают после того, как уровень предыдущей почти достигает уровня ионита. Следят за тем, чтобы над слоем ионообменника постоянно находилась жидкость. После промывания ионита закрывают кран, оставляют воду в колонке.

После каждого анализа ионообменную смолу регенерируют, восстанавливая ее активную форму. Для регенерации ионообменников проводят обратную ионообменную

реакцию, пропуская через катионит раствор кислоты, через анионит - раствор щелочи. Таким образом, ионообменные смолы служат много циклов.

В анализе пищевых продуктов метод ионообменной хроматографии применяется для решения следующих задач:

- концентрирование металлов с последующим анализом элюата полярографическим, фотоколориметрическим, комплексонометрическим или другими методами; эта операция заменяет трудоемкую стадию минерализации пробы;
- концентрирование и определение органических кислот и солей хроматографическими методами;
- определение суммарного содержания катионов или анионов;
- деминерализация (деионизация) пищевых продуктов, при которой удаляются электролиты;
- хроматографическое разделение отдельных ионов и соединений, основанное на их различном родстве к ионитам.

7.10. Хроматография на бумаге

Метод хроматографии на бумаге относится к плоскостной хроматографии, он основан на распределении анализируемых веществ между двумя несмешивающимися жидкостями.

В распределительной хроматографии разделение веществ происходит вследствие различия коэффициентов распределения компонентов между двумя несмешивающимися жидкостями. Вещество присутствует в обеих фазах в виде раствора. Неподвижная фаза удерживается в порах хроматографической бумаги, не взаимодействуя с ней, бумага выполняет функцию носителя неподвижной фазы.

Виды хроматографической бумаги:

1) гидрофильная бумага удерживает в порах до 22 % воды; неподвижная фаза - вода, подвижная - органический растворитель; такая бумага применяется для определения водорастворимых веществ.

2) гидрофобная бумага отталкивает воду, поэтому ее пропитывают неполярным органическим растворителем (неподвижная фаза); подвижная фаза - вода; такая бумага применяется для определения нерастворимых в воде соединений (жирорастворимые кислоты, витамины).

К хроматографической бумаге предъявляются следующие требования:

- химическая чистота;
- химическая и адсорбционная нейтральность по отношению к анализируемым веществам и подвижной фазе;
- однородность по плотности;
- одинаковая направленность волокон.

Для получения хроматограммы на бумагу наносят каплю анализируемой смеси. Бумагу помещают в хроматографическую камеру, ее конец погружают в сосуд с элюентом. Растворитель продвигается по бумаге, смесь анализируемых веществ распределяется между подвижной и неподвижной фазами и разделяется на бумаге в виде пятен или полос. Положение зон компонентов определяют проявлением хроматографической бумаги соответствующими реагентами, которые с компонентами разделяемой смеси образуют окрашенные соединения.

Для количественной оценки способности разделения веществ в хроматографической системе применяют коэффициент распределения K_p - отношение концентрации вещества в неподвижной и подвижной фазах. Экспериментальное установление коэффициентов распределения в данном методе невозможно, для оценки способности разделения веществ на бумаге применяют коэффициент смещения (подвижности) R_f . Коэффициент смещения равен отношению скорости движения вещества (V_B) к скорости движения подвижной фазы ($V_{пф}$). Экспериментально величину R_f находят как отношение расстояния X , пройденного веществом, к расстоянию X_f , пройденному растворителем от старта до линии фронта:

$$R_f = V_B / V_{пф} = X / X_f.$$

Коэффициент R_f изменяется в пределах 0 - 1,00. Величина R_f зависит от природы определяемого вещества, вида хроматографической бумаги, качества и природы растворителя, способа нанесения пробы, техники эксперимента и температуры. Коэффициент R_f не зависит от концентрации определяемого вещества и присутствия других компонентов.

Идентификацию по хроматограмме выполняют следующими способами:

- визуальным сравнением характерной окраски зон веществ на исследуемой и стандартной хроматограммах;
- измерением коэффициентов подвижности R_f для стандартного и анализируемого вещества в определенном растворителе. Хроматографирование и установление R_f для исследуемой и анализируемой смесей проводят на одинаковой бумаге и в одной камере в строго идентичных условиях. Сопоставляя коэффициенты R_f , делают заключение о присутствии в анализируемой смеси тех или иных компонентов.

Количественное определение выполняют непосредственно по хроматограмме или при вымывании (элюировании) анализируемого вещества с бумаги.

Способы количественного анализа:

- визуальное сравнение интенсивности окраски пятен на исследуемой и стандартной хроматограммах (полуколичественное определение, точность 15 -20 %);
- измерение площади пятна, образованного данным компонентом, и нахождение концентрации вещества по градуировочному графику, построенному для серии стандартных растворов в координатах: площадь пятна - концентрация вещества; точность определения 5 - 10 %;
- элюирование определяемого вещества с поверхности и спектрофотометрическое или флуориметрическое измерение оптической плотности элюата (A); концентрацию вещества в растворе рассчитывают по формуле:

$$c = K \cdot S \cdot A,$$

где K - коэффициент пропорциональности; S - площадь пятна, измеренная предварительно, мм^2 ; точность определения 1 %.

По способу хроматографирования различают восходящую, нисходящую, круговую, градиентную и двухмерную хроматографии.

Метод хроматографии на бумаге широко применяется для определения неорганических соединений, аминокислот, аминов белков, углеводов, жирных кислот, фенолов, витаминов в химической, пищевой, фармацевтической промышленности, медицине, биохимии, экологии.

Метод нашел применение в анализе практически всех пищевых продуктов: в сахарном производстве - для определения углеводов; в хлебопекарном и кондитерском - аминокислот, органических кислот, углеводов, полисахаридов и карбонильных соединений; в виноделии - органических кислот и аминокислот; в производстве молока

и молочных продуктов - аминокислот; в мясо перерабатывающей промышленности - фенолов, жирных и летучих кислот, аминокислот и карбонильных соединений

7.11. Хроматографический процесс и его характеристики в тонкослойной хроматографии

Тонкослойная хроматография (ТСХ) является разновидностью пленарной жидкостной хроматографии, в которой подвижная фаза движется в пористой среде плоского слоя сорбента под действием капиллярных сил. Скорость движения вещества определяется соотношением времени его удерживания в потоке элюента и удерживания за счет сорбции на неподвижной фазе. При движении элюента вдоль плоскости каждая молекула или ион растворенного вещества участвует в многочисленных актах сорбции и десорбции. В процессе хроматографирования зона каждого вещества проходит характерное расстояние, определяемое его природой. Обычно эти зоны размыты за счет флуктуации средней скорости движения индивидуальных молекул вдоль пластины (рис. 14).

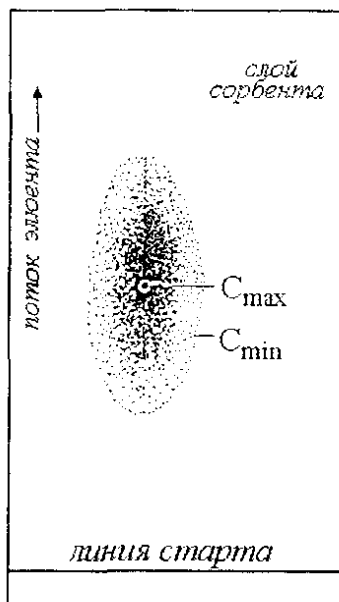


Рис. 14. Размывание пятна в ТСХ;
С – концентрация вещества

Таким образом, основным в ТСХ является процесс независимого движения компонентов разделяемой смеси в потоке элюента вдоль пластины с постепенным размыванием хроматографических зон, форма которых существенно зависит от изотермы адсорбции.

Важной характеристикой любого хроматографического процесса является **изотерма сорбции**. В адсорбционной хроматографии она носит название изотермы адсорбции, в распределительной - изотермы распределения. Изотерма адсорбции (распределения) - это кривая зависимости концентрации вещества в неподвижной фазе ($C_{\text{НФ}}$) от концентрации вещества в подвижной ($C_{\text{ПФ}}$) фазе при постоянной температуре и условиях равновесия. Отношение этих концентраций называют коэффициентом распределения D :

$$D = \frac{C_{\text{нф}}}{C_{\text{пф}}}$$

Для адсорбционного механизма хроматографирования D имеет размерность $(\text{г/г})/(\text{г/см}^3) = (\text{см}^3/\text{г})$, для жидкостно-жидкостного распределения

$D = (\text{г/см}^3)/(\text{г/см}^3)$ - безразмерная величина.

Отношение количеств (но не концентраций) вещества в двух фазах определяет величину фактора емкости (коэффициента емкости), в последнее время называемого **фактором удерживания k'** . Величины D и k' пропорциональны между собой:

$$k' = \frac{C_{\text{нф}} \cdot V_{\text{нф}}}{C_{\text{пф}} \cdot V_{\text{пф}}} = D \frac{V_{\text{нф}}}{V_{\text{пф}}}$$

Где $V_{\text{нф}}$ и $V_{\text{пф}}$ - объемы неподвижной и подвижной фаз, соответственно.

Коэффициент распределения определяют из наклона линейной части соответствующей изотермы сорбции (рис. 15).

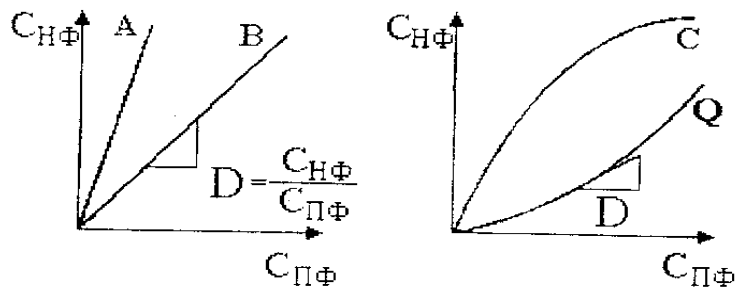


Рис. 15. Определение коэффициента распределения из изотермы сорбции

Количественное разделение смеси на отдельные компоненты возможно, когда значения D в выбранной системе различаются между собой не менее чем на 0,001.

Вид изотермы сорбции влияет на форму хроматографической зоны (рис. 16). Различают три основные формы изотермы: линейную (B), выпуклую (C) и вогнутую (Q). Степень кривизны определяется относительно оси $C_{\text{пф}}$. В области небольших концентраций образца при адсорбционных процессах большинство изотерм имеет линейный характер, при повышении концентрации линейная зависимость нарушается, и они становятся вогнутыми или выпуклыми. Линейные изотермы приводят к появлению симметричных хроматографических зон. Выпуклые и вогнутые - вызывают их размывание.

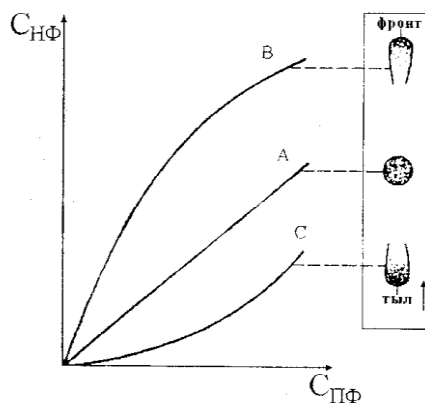


Рис. 16. Связь между изотермой сорбции и формой пятна в ТСХ

Удлинение пятен может быть связано с кинетическими эффектами (*сопротивление массопереносу*), однако оно не зависит от концентрации вещества в пробе.

В практической работе нелинейность изотерм является нежелательным фактором, поскольку не только приводит к изменению формы зон, но и влияет на воспроизводимость количественных определений. Изотермы могут быть выпрямлены *дезактивированием* сорбента или повышением элюирующей способности подвижной фазы. Дезактивирующие добавки селективно занимают центры с наибольшей активностью, что делает поверхность сорбента более однородной. Хорошо дезактивированные силикагели сортов, применяемых в ТСХ, обладают сорбционной емкостью в 5 раз более высокой, чем оптимально дезактивированный оксид алюминия. При толщине слоя силикагеля, используемой для аналитических определений (0,25 мм), и средней активности (при относительной влажности 45 %) линейность изотермы не нарушается при нанесении 5-20 мкг образца.

Величина R_f в линейной ТСХ

Величина R_f является одним из важнейших параметров ТСХ. В соответствии с коэффициентами распределения разделяемые компоненты переносятся подвижной фазой вдоль слоя сорбента, образуя отдельные зоны. Положение каждой зоны характеризуется величиной R_f (rate fraction) - физический смысл которой определяется отношением скоростей движения зоны определяемого вещества и элюента. Поскольку на практике измерить эти величины трудно величину R_f , называемую подвижностью, экспериментально определяют

как отношение расстояния l , пройденного веществом от точки нанесения пробы до центра зоны, к расстоянию L , пройденному элюентом от линии старта до линии фронта элюента за то же время.

$$R_f = \frac{l}{L}$$

Величина R_f является индивидуальной характеристикой соединения, хроматографируемого в данном растворителе, в условиях опыта и изменяется от 0 до 1. Оптимальным для практической ТСХ является интервал изменения R_f от 0.2 до 0.8. При $R_f = 0$ вещество не движется, при $R_f = 1$ вещество не задерживается неподвижной фазой и движется с фронтом растворителя.

Типы классификаций ТСХ

Тонкослойная хроматография может быть классифицирована по различным принципам:

- механизму процесса разделения;
- природе неподвижной (НФ) и подвижной (ПФ) фазы;
- числу операций хроматографирования;
- способу движения растворителя по слою сорбента;
- направлению движения растворителя;
- режимам хроматографирования.

Таблица 8

Основные механизмы разделения в ЖХ

Вид хроматографии	Основной механизм действия	Параметры, контролирующие разделение
Адсорбционная нормально-фазовая и обращённо-фазовая	Адсорбция	Коэффициент адсорбции
распределительная нормально-фазовая	Экстракция, межфазное распределение	Коэффициент распределения
распределительная обращённо-фазовая	Экстракция, межфазное распределение, гидрофобные взаимодействия	Коэффициент распределения
Ион-парная обращённо-фазовая	Гидрофобные взаимодействия с установлением вторичного равновесия ион-парных комплексов	Коэффициент распределения, вторичные константы равновесия
Ионообменная	Электростатические (ионные) взаимодействия	Заряд, константа диссоциации, изоэлектрические точки
Эксклюзионная гельпроникающая	Исключение из пор адсорбента	Эффективный размер макромолекул, коэффициент распределения

ТСХ является разновидностью жидкостной хроматографии (ЖХ), поэтому основные механизмы разделения в ЖХ реализуются и в ТСХ (табл. 8).

Классификация механизмов разделения, представленная в табл. 8 основана на характере сил, действующих между растворенным веществом и твердой или жидкой фазами, с которыми оно соприкасается. На практике обычно разделение веществ протекает по смешанным механизмам. Так, адсорбционный механизм сопровождается распределительным при ТСХ на слабоактивных сорбентах в элюентах, содержащих воду. Распределительный и ионообменный механизмы часто дополняются адсорбционным. В ТСХ в отличие от ЖХ все процессы разделения осложняются влиянием паровой фазы, содержащей испаряющийся элюент. Это может приводить к возникновению тонких взаимодействий между веществом и сорбентом, элюентом и сорбентом, веществом и элюентом, что позволяет получить в ряде случаев разделение близких по структуре веществ и сложных многокомпонентных смесей, которые при реализации чистых механизмов в ЖХ невозможно получить.

В адсорбционном варианте ТСХ в зависимости от полярности неподвижной и подвижной фаз различают нормально-фазовую (НФХ) и обращённо-фазовую (ОФХ) хроматографии. В НФХ используют полярный адсорбент и неполярные подвижные фазы, в ОФХ - неполярный сорбент и полярные подвижные фазы. В обоих случаях выбор подвижной фазы важнее, чем выбор неподвижной. Неподвижная фаза должна удерживать разделяемые вещества. Подвижная фаза, т.е. растворитель, должна обеспечивать эффективное разделение за приемлемое время.

Распределение сорбата между подвижной жидкой и неподвижной твердой фазами происходит за счет взаимодействий двух видов: неспецифических (дисперсионных, индукционных, ориентационных, гидрофобных) и специфических, вносящих основной вклад в величины удерживания, под которыми понимают образование водородных связей, донорно-акцепторное взаимодействие с неподвижной твердой фазой и др.

Механизм удерживания зависит от природы сорбента. На полярных сорбентах удерживание обусловлено взаимодействием компонентов с гидроксильными группами неподвижной фазы (силикагеля, оксида алюминия и др.) с образованием водородных связей. На неполярных сорбентах адсорбция осуществляется, в основном, за счет неспецифических взаимодействии с обращенно-фазовым сорбентом. Кроме того, на поверхности обращенной фазы за счет адсорбции может удерживаться слой жидкой фазы, обогащенной менее полярным растворителем из подвижной фазы. Состав этого слоя отличается от состава подвижной фазы, и разделение происходит за счет распределения компонентов между двумя несмешивающимися жидкостями. Поэтому разделение на обращенных фазах часто относят к распределительной хроматографии. Четко разграничить адсорбционную и распределительную хроматографии трудно.

Метод распределительной или жидкостно-жидкостной ТСХ основан на распределении вещества между двумя несмешивающимися жидкостями.

Жидкую *неподвижную* фазу наносят на пористый сорбент. При пропускании жидкой *подвижной* фазы через слой сорбента анализируемая смесь разделяется на компоненты главным образом за счет различной растворимости в жидкой неподвижной фазе. Обычно растворимость компонентов пробы в подвижной и неподвижной жидких фазах, обладающих разной полярностью, сильно различается. Если растворимость пробы выше в неподвижной фазе, R_f уменьшается, если растворимость выше в подвижной фазе - значения R_f возрастают. Чтобы добиться разделения, в подвижную фазу, насыщающую неподвижную, включают третий компонент, снижающий различие в полярности подвижной и неподвижной фаз. Например, к смеси неполярного (гексан) и полярного (вода) растворителей прибавляют спирт. Только в этом случае удастся подобрать оптимальные условия для разделения компонентов смеси.

Обычно полярный растворитель (вода, спирт) фиксирован на твердом носителе - силикагеле, диатомите, целлюлозе, оксиде алюминия. Подвижной фазой в этом случае служат неполярные растворители - изооктан, бензол, гексан и др. Такие системы используют в *нормально-фазовой распределительной* ТСХ.

Жидкие фазы, нанесенные путем импрегнирования (пропитки) имеют большой недостаток, так как быстро смываются с поверхности носителя. Поэтому более эффективным приемом является прививка к носителю. В качестве носителей неподвижных жидких фаз в НФТСХ используют силикагель с привитыми нитрильными, аминными, диольными и другими группами.

Пластины с химически связанными фазами имеют преимущества перед импрегнированными: не требуется насыщения неподвижной фазой элюентом, разделяемые вещества не загрязняются неподвижной фазой и характеризуются более воспроизводимыми величинами R_f .

Если неполярный растворитель зафиксировать на носителе, а в качестве подвижной фазы использовать полярные растворители (воду, спирты, ацетонитрил, буферные растворы, сильные кислоты), то такой вариант называют *обращенно-фазовой распределительной* ТСХ. В этом случае в качестве носителей неподвижных жидких фаз часто используют алкилмодифицированные силикагели RP_2 , RP_8 , RP_{18} (*relative phase*) с привитыми углеводородными фазами. Механизм разделения основан как на гидрофобных силах, вытесняющих неполярное вещество из водного элюента, так и на ван-дер-ваальсовых взаимодействиях углеродной части молекулы разделяемых соединений и алкильных радикалов адсорбента. С увеличением длины алкильного радикала взаимодействие увеличивается.

ОФТСХ применяют для разделения полярных и неполярных соединений. Вещества элюируются в порядке увеличения полярности: более полярные - быстрее. При увеличении полярности вещества для уменьшения удерживания увеличивают содержание воды в элюенте. Однако при увеличении содержания воды более чем на 35% сильно замедляется движение элюента, и пластины перестают смачиваться. Добавление солей (NaCl, LiCl) в элюент улучшает смачивание и процесс разделения.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Доказать, что потенциометрический метод- экспрессный метод анализа объектов окружающей среды.
- 2) Роль и значение вольтамперометрического и амперометрического методов анализа в экологии.
- 3) Обосновать, почему прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование- экспрессные методы определения минерализации природных вод и засоленности почв.
- 4) Газовая хроматография в анализе объектов окружающей среды.
- 5) Охарактеризуйте методы количественных оценок в хроматографии
- 6) Применение хроматографии для определения микроколичеств пестицидов
- 7) Правила отбора проб растений, сельскохозяйственной продукции, продуктов питания , почвы, воды для определения микроколичеств пестицидов
- 8) Особенности ионообменной хроматографии в анализе ООС
- 9) Общая характеристика методов хроматографии на бумаге
- 10) Хроматографический процесс и его характеристики в тонкослойной хроматографии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4.
2. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов:учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В. Ряписова, Н.Р. Стрельцова.- М.:кОЛОСс, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7.
3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 8

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ – ОСНОВНАЯ БАЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ БИОГЕОЦЕНОЗОВ

8.1. Цель и задачи геохимических методов исследования экосистем

Распространение в окружающей среде отходов производственной деятельности и средств химизации приводит к образованию техногенных потоков веществ, которые в сравнении со средним составом природных экосистем отличаются высокой степенью концентрации различных сочетаний химических элементов. Особое место среди этих элементов занимают редкие (литий, бериллий, цирконий, ртуть, кадмий, сурьма и др.), которые весьма токсичны для живых организмов.

Попадание и накопление в окружающей среде (экосистемах) этих элементов есть результат человеческой деятельности. Распределение элементов осуществляется природными (иногда техногенными) механизмами миграции, образующими техногенные *ореолы рассеяния*.

Характеристиками техногенных ореолов рассеяния, которые определяют качество окружающей среды и степень техногенного загрязнения экосистем являются:

- состав,
- степень концентрации,
- формы нахождения элементов,
- интенсивность биологического поглощения.

Первым обратил внимание на химическую и биологическую сторону техногенного изменения биосферы и его глобальный характер В.И. Вернадский. Им выделен новый вид геохимической миграции атомов «вызванный человеческим разумом и трудом».

Геохимические методы изучают распространение химических элементов или их соединений в горных породах, почвах, водах, атмосфере и растительности.

Основными задачами исследований являются:

- определение степени загрязненности и запыленности приповерхностной атмосферы,
- выявление закономерностей распространения в почвах и породах зоны аэрации тяжелых металлов, пестицидов, гербицидов, нефтепродуктов и других загрязняющих веществ;
- изучение особенностей и распространения загрязняющих веществ в донных осадках, поверхностных водотоках и водоемах,
- определение концентрации тяжелых металлов в растениях и их сообществах с целью выявления фитоиндикаторов загрязнения геологической среды;
- определение взаимосвязи загрязнения почв, пород зоны аэрации с загрязнением подземных вод, а также взаимоотношение загрязнения донных отложений и поверхностных вод.

Геохимические исследования проводятся путем систематического *опробования приповерхностной атмосферы, почв, пород* зоны аэрации, донных отложений, растительности, подземных и поверхностных вод. Опробование может носить одноразовый характер, а также осуществляться в системе мониторинга. В последнем

случае предварительно необходимо обосновать место отбора проб, то есть разработать схему расположения сети режимных наблюдений мониторинга. Критерии выбора сети наблюдений определяются в каждом конкретном случае исходя из

регионально-геологических, зонально-климатических и техногенных условий изучаемой территории.

8.2. Основные группы геохимических методов исследования

Геохимические методы подразделяются на следующие группы:

- газогеохимические методы, когда исследуется атмосферный воздух на предмет определения в нем содержания газов, паров металлов и различных химических веществ,
- гидрогеохимические методы, когда исследуется участие поверхностных и подземных вод, а также техногенных стоков в миграции химических элементов и их соединений (к этой же категории можно отнести морскую геохимию, изучающую химический состав морской воды и процессы загрязнения морей, особенно в прибрежных частях и на континентальном шельфе);
- литогеохимические методы, исследующие процессы формирования естественных и техногенных ореолов и потоков рассеяния химических элементов в почвах и горных породах.

Основным методом геохимических исследований является **геохимическое картирование**, в основу которого положено:

- комплексное пространственное изучение рассеяния химических элементов от их источников во всех компонентах биосферы: *миграционных* (вода и воздух); *депонирующих* (горные породы, донные отложения, почвы, растительность, живые организмы);
- использование высокочувствительных методов экспрессного многокомпонентного спектрального анализа, позволяющего на значительных выборках исследовать максимально широкую ассоциацию химических элементов;
- прослеживание геохимических взаимосвязей между компонентами биосферы и условиями концентрации в них химических элементов.

Результаты геохимического картирования позволяют изучить закономерности распределения и миграции загрязнителей атмосферы, выявить ореолы их рассеяния, таким образом создать оптимальную сеть стационарных наблюдений.

Основными направлениями геохимического картирования природных сред являются:

- выявление и комплексная характеристика источников загрязнения биосферы (экосистем) химическими элементами,
- прослеживание потоков химических элементов по всем возможным каналам их миграции, оконтуривание вдоль этих каналов зон их возможного влияния на живые организмы; основные задачи - геохимическая инвентаризация биосферы, выявление участков депонирования загрязнителей;
- биогеохимическая оценка миграции и концентрации химических элементов (загрязнителей) живыми организмами как непосредственно в зонах загрязнения, так и с учетом движения загрязнителей по трофическим цепям (исследования должны увязываться с медико-биологическими);

- выявление динамики загрязнения биосферы, скорости и объемов поступления загрязнителей в компоненты — накопители; установление особенностей минералого-геохимических преобразований при концентрировании, определение скорости выведения и дальнейшей миграции химических элементов. Основная задача этого направления — получение материалов прогнозного характера.

8.3. Этапы проведения геохимических методов исследования экосистем

При проведении геохимических исследований загрязнения окружающей среды химическими элементами выделяют три основных этапа, различающихся решаемыми задачами и методами:

- **подготовительный** — рекогносцировочные исследования геохимических особенностей состояния окружающей среды (рекогносцировочные геохимические работы);
- **основной** — выделение и оконтуривание на местности техногенных ореолов рассеяния (геохимическое картирование);
- **завершающий** — детальные геохимические и биогеохимические исследования аномалий (детальные эколого-геохимические исследования).

Рекогносцировочные геохимические работы проводятся с целью выявления основных источников загрязнения и геохимической специфики зон их воздействия, а также установления природных условий формирования и прослеживания техногенных ореолов рассеяния и особенностей распределения фоновых параметров. Рекогносцировочные работы начинаются со сбора литературных, фондовых и картографических данных по территории, намеченной к исследованию.

В результате составляется кадастр потенциальных источников загрязнения, видов и объемов, выделяемых ими не утилизированных отходов, в конечном счете, попадающих в окружающую среду, а также картографические основы. Последние включают карту ландшафтов и карту-схему функционального зонирования городских территорий, позволяющие установить пространственное положение источников загрязнения и функциональные особенности зон их возможного воздействия.

В ходе сбора материалов особое внимание должно быть уделено данным организаций, контролирующих состояние окружающей среды. В материалах этих организаций имеются сведения обо всех основных потенциальных источниках загрязнения и о некоторых химических элементах, наблюдаемых с установленной частотой в воздухе стационарной сети наблюдений.

Важнейшей частью геохимических исследований этапа является опробование основных компонентов природных сред фоновых геохимических ландшафтов: почв, растительного покрова, природных вод, атмосферы и т.д.

При выборе фоновых территорий важно выявить и изучить основные наиболее распространенные типы контрастно различающихся ландшафтно-геохимических обстановок исследуемой территории.

Для геохимически автономных ландшафтов водоразделов и склонов выбор фоновых эталонов с естественными природными параметрами распределения химических элементов обычно лимитируется возможностью подбора территорий, не испытывающих локальных местных воздействий в результате выпадения загрязнителей из атмосферы.

При изучении источников загрязнения на рассматриваемом этапе исследований проводится геохимическое опробование лишь наиболее объемных видов отходов:

канализационных осадков, бытового мусора, осадков сточных вод групповых очистных сооружений.

Геохимическое опробование объектов окружающей среды на рекогносцировочном этапе должно выявить лишь общую структуру загрязнения территории и его важнейшие геохимические особенности. В сущности, цель опробования - выявление участков для геохимического картирования техногенных ореолов и потоков рассеяния.

Геохимическое опробование ореолов рассеяния проводится в районе известных и потенциальных источников загрязнения таким образом, чтобы можно было сформировать представительные геохимические выборки для выявления ореолов и оценки соответствующих им ассоциаций химических элементов.

Для крупных урбанизированных территорий эти выборки рационально дополнять опробованием почв и снегового покрова с детальностью 1 точка наблюдения на 1 км², что позволяет выявить все основные очаги загрязнения.

Результаты исследований рекогносцировочного этапа позволяют составить геохимическую схему территории (масштаб 1:100 000—1:50 000), обобщающую сведения о ее функциональной дифференциации и геохимической характеристике основных источников загрязнения. Эти материалы позволяют составить обоснованную программу исследований следующего этапа.

Геохимическое картирование является средним и наиболее объемным этапом исследования особенностей загрязнения территорий химическими элементами. Практические цели работ этого этапа:

- выявление всех значимых источников загрязнения окружающей среды,
- установление основных видов отходов производственной и сельскохозяйственной деятельности, обогащенных химическими элементами и потенциально перспективных для вторичной переработки или требующих специальных условий безопасности депонирования;
- прослеживание потоков распространения химических элементов в окружающей среде — как естественных, природно-миграционных, так и искусственных, обусловленных транспортировкой отходов или загрязненной продукции в места депонирования или применения;
- изучение морфоструктурных особенностей пространственного распределения загрязнений, установление пространственных границ зон влияния источников загрязнения и, в конечном счете, дифференциации исследуемой территории по качественным характеристикам и интенсивности испытываемого отрицательного воздействия.

При изучении источников загрязнения основной вид работ, входящий в комплекс характеризуемого этапа — выявление и опробование всех основных видов отходов и предварительная оценка их объемов.

Изучение ореолов рассеяния, связанных с выпадением материала выбросов в атмосферу или депонированием отходов, проводятся путем планомерных геохимических съемок почв и пыли, осаждаемой на снеговой покров.

По результатам геохимических исследований среднего этапа составляются геохимические карты всех основных очагов загрязнения изученной территории, являющиеся основой природоохранных практических мероприятий и выявляющие локальные «горячие точки» для детальных геохимических и биогеохимических исследований.

Детальные геохимические и биогеохимические исследования аномалий окружающей среды являются завершающим этапом работ. Они проводятся с целью:

- углубления оценки качества среды,
- получения данных для прогноза изменения его при продолжающемся воздействии,

- выявления характера реакции живых организмов на состояние среды.

Задачи и методы этого этапа во многом совпадают с заданием санитарно-гигиенической службы и служб контроля за состоянием среды, и работы должны проводиться в тесном контакте с соответствующими специалистами.

В сущности, весь комплекс геохимических исследований является предварительным этапом подготовки территорий для стационарных динамических исследований санитарно-эпидемиологических станций и организаций, контролирующих состояние воздуха, вод, почв и растений.

Детальные геохимические и биохимические исследования проводятся, главным образом, в центрах выявленных аномалий.

В пределах техногенных ореолов рассеяния в урбанизированных зонах комплекс детальных работ включает:

- гигиеническую оценку степени загрязнения атмосферного воздуха (организуется совместно со специализированными службами);
- исследование биогеохимических показателей населения и оценку состояния его здоровья (также организуется совместно со специализированными службами);
- расширенное изучение комплекса химических элементов и определение объемов загрязненных почв и грунтов.

В сельскохозяйственных районах детальные исследования ореолов рассеяния заключаются в уточнении количественных оценок степени загрязнения почв химическими элементами и в установлении доли подвижных, усвояемых растениями форм токсичных элементов от общего содержания этих элементов в почве.

При организации работ всех этапов необходимо подготовить картографический материал. Маршруты, профили и сети опробования должны фиксироваться на топографической карте или плане местности.

Выбор масштаба зависит от мощности источника загрязнения и от детальности работ. На рекогносцировочном этапе используются карты масштаба 1:100000—1:200000; на этапе съемки для целей картирования — карты и планы масштаба 1:50000—1:5000.

8.4. Методы обработки результатов геохимических исследований

Одной из главных характеристик геохимической техногенной аномалии является ее интенсивность, которая определяется степенью накопления элемента-загрязнителя по сравнению с природным фоном.

Показателем уровня содержания элементов в природных средах является **коэффициент концентрации K_c** , который рассчитывается как отношение содержания элемента в исследуемом объекте C к среднему фоновому его содержанию C_f : $K_c = C / C_f$

По данным снегового опробования рассчитывается аналогичный показатель и для нагрузки загрязнения (элемента) на окружающую среду — массы загрязнителя, выпадающей на единицу площади за единицу времени.

Для этого учитывается общая масса потока загрязнителей — пылевая нагрузка P_n в $\text{кг}/(\text{км}^2 \text{ сут})$ и концентрация элемента C (в $\text{мг}/\text{кг}$) в снеговой пыли.

На этом основании рассчитываются:

|

1) общая нагрузка, создаваемая поступлением химического элемента в окружающую среду: $P_{общ} = C P_n$;

2) коэффициент относительного увеличения общей нагрузки элемента:

$$K_p = P_{общ} / P_f$$

$$при, P_f = C_f P_{nf}$$

где C — фоновое содержание исследуемого элемента;

P_{nf} — фоновая пылевая нагрузка, которая для Нечерноземной зоны составляет 10 кг/(км²сут);

P — фоновая нагрузка исследуемого элемента.

Поскольку техногенные аномалии чаще всего имеют полиэлементный состав, для них рассчитываются суммарные показатели загрязнения Z_c и нагрузки Z_p , характеризующие эффект воздействия группы элементов.

Для расчета используются следующие формулы:

$$Z_c = \sum K_c - (n-1)$$

$$Z_p = \sum K_p - (n-1)$$

где n — число учитываемых аномальных элементов.

Все перечисленные показатели могут быть определены как для содержания в отдельной пробе, так и для участка территории (района, функциональной зоны, природной ландшафтной единицы, очага загрязнения). В последнем случае исследование ведется путем математической обработки выборки.

Главная задача исследования выборок — выявить химические элементы, накапливающиеся в почвах или в выпадениях изучаемого объекта, и провести сравнительную характеристику качественных и количественных особенностей выявленных геохимических ассоциаций.

8.5 Понятие «геохимическая ассоциация». Картирование ассоциаций

Термин «**геохимическая ассоциация**» применяется для обозначения группы элементов, накапливающихся в изучаемом объекте под воздействием определенного миграционного потока, связанного с источником или группой источников.

Ассоциация может характеризовать не только объект в целом, но и часть объекта, и конкретную точку опробования.

По результатам геохимических исследований составляются следующие карты:

- карты распространения отдельных элементов, входящих в состав общей ассоциации (монокарты);
- карты распространения ассоциаций сонахождения;
- карты распространения обобщенных количественных показателей загрязнения.

Многоэлементные карты отражают особенности распределения отдельных элементов-индикаторов загрязнения на изучаемой территории. Равномерная сеть опробования позволяет показать распределение содержаний с помощью изолиний.

Для удобства сравнительной характеристики карт изолинии соответствуют значениям, кратным фоновому содержанию исследуемого элемента, то есть карта составляется в коэффициентах концентрации.

Карты ассоциаций сонахождения отражают совместное распределение в ореоле групп элементов, содержания которых превышают определенный порог аномальности. Для этого в каждой проанализированной пробе выявляется группа элементов с концентра-

циями выше порога. В результате каждая точка наблюдений характеризуется каким-либо сочетанием элементов из числа входящих в общую ассоциацию, определенную по геохимической выборке данного объекта. Эти сочетания элементов и составляют в данном случае качественную характеристику ассоциации сонахождения.

Для оконтуривания участков распространения таких ассоциаций на карте проводится их предварительная систематизация и типизация. В итоге территория исследуемого участка характеризуется определенным набором сочетаний. Если в расположении ассоциаций сонахождения наблюдается последовательная закономерная смена, это позволяет оконтурить общий ореол сложной ассоциации и выявить особенности ее распределения для характеристики миграционных потоков.

Карты суммарного показателя загрязнения (и суммарного показателя нагрузок) составляются по тому же принципу, что и моноэлементные.

Опыт геохимического картирования загрязненных территорий показывает, что суммарная количественная характеристика загрязнения находится в тесной связи с комплексностью ореола: чем больше химических элементов входит в состав ореола, тем выше уровень аномальности каждого из них, а следовательно, тем больше величина суммарного загрязнения.

Это позволяет удачно совмещать карты распределения значений суммарного показателя с качественной характеристикой комплексного ореола.

Перечисленные типы карт позволяют дать общую качественно-количественную оценку загрязнения объекта микроэлементами, а также выявить особенности распределения отдельных загрязнителей.

Широкий круг практических задач, решаемых геохимическими исследованиями, обуславливает заинтересованность многочисленных организаций и ведомств, осуществляющих пользование ресурсами или контроль над ними.

Материалы геохимических исследований используются подразделениями Госкомэкологией РФ и Министерства природных ресурсов, санитарно-эпидемиологической службой, администрацией и другими руководящими территориальными органами.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Цель и задачи геохимических методов исследования экосистем
- 2) Охарактеризуйте основные группы геохимических методов исследования
- 3) Дайте общую характеристику этапов проведения геохимических методов исследования экосистем
- 4) Понятие «геохимическая ассоциация». В чем состоит картирование ассоциаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4

2. **Павлов, Д.С.** Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития / Д.С.Павлов, Б.Р. Стриганова, Е .Н.Букварева, Ю.Ю.Дгебуадзе.-М.: Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России, 2009.- 84 с.- ISBN-5-88305-054-9

3. **Промышленная экология .Основы инженерных расчетов:учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В.Ряписова, Н.Р.Стрельцова.- М.: КолосС, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7**

4. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с.
ISBN-5-8114-0350-X

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие
/Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 9

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1. Общие представления о геофизических методах изучения экосистем

Геофизические методы изучают распределение естественных или искусственно созданных физических полей — гравитационного, магнитного, электромагнитного, радиоактивного, теплового и других. Современная геофизическая аппаратура обладает очень высокой точностью измерений, благодаря чему обеспечивает возможность выявить и проследить даже слабые изменения полей, соответствующие небольшим изменениям некоторых свойств изучаемых объектов.

Благодаря большому разнообразию методов, методик и модификаций, соответствующей оснащённости современной аппаратурой и широкому спектру применения — на суше, в горных выработках, с самолетов и на кораблях — геофизические методы позволяют решать многочисленные геоэкологические задачи — от локальных до глобальных.

При изучении загрязнения подземных вод, картировании фильтрационных потоков на больших глубинах, при оценке устойчивости зданий и сооружений в криолитозоне положительные результаты получены с помощью **электроразведочных методов**.

Радиоволновой метод показал высокую эффективность по выявлению и оконтуриванию источников нефтяных загрязнений грунтов и подземных вод, при поисках и съемке карстово-суффозионных провалов и др. Хорошо зарекомендовали себя **сейсмоакустические методы** при изучении геокриологических условий и картировании подземных льдов.

Гравиметрические методы успешно использовались для локализации мест проявления карстовых процессов (в частности, в Москве), а также для прослеживания активных разрывных нарушений. В одной из клиник Москвы для выявления и лечения магнитозависимых кардиологических больных были применены специализированные диагностические магнитометры.

Ведущим геофизическим методом при поисках захоронений боеприпасов времен Второй мировой войны и других объектов (затонувшие суда, самолеты, проложенные по дну трубопроводы и кабели, многие из которых находятся под слоем осадков) является **магнитная съемка**.

Большой эффективностью обладают комплексные геофизические исследования. Значительный опыт таких исследований на акваториях рек и водохранилищ накоплен специалистами МГУ. Изучение геологического разреза и древних тектонических нарушений проводилось с помощью сейсмического профилирования. **Электроразведка** позволила установить распределение глин по разрезу и в плане акватории. **Сейсмоакустические и электроразведочные методы** установили геометрию донных отложений, карстово-суффозионные процессы и новейшие тектонические движения.

Измерение быстroteкущих процессов — изменение минерализации воды, температуры, режима водообмена — осуществлялись методами **резистивиметрии** и естественного электрического поля. Для проведения многоцелевых исследований на акваториях создан компьютерный комплекс с его математическим обеспечением, способный работать с движущегося судна.

В ОКБ Института физики Земли РАН начаты работы по созданию систем геофизического контроля (системы по контролю электростанций, подземных захоронений отходов).

Геофизические наблюдения обладают способностью контролировать поведение системы «объект-среда». Наиболее эффективным является комплексирование различных геофизических методов с регистрацией в зоне объекта сейсмических волновых полей, медленных движений, вариаций метеопараметров (давления, температуры и др.), параметров гидрогеологического режима. В будущем система геофизического контроля может быть дополнена регистрацией электрических, магнитных и электромагнитных полей Земли и атмосферы.

9.2. Основные задачи геофизических исследований экосистем

Основная задача геофизического контроля — выработка критериев, позволяющих принять правильное решение и подать сигнал, предупреждающий о критическом состоянии объекта или окружающей среды.

На исходе текущего столетия и второго тысячелетия начался новый этап отношений цивилизации с нашей планетой, который характеризуется резким возрастанием техногенного влияния на природу.

Одной из значительных становится проблема наведенной сейсмичности, а в следующем столетии, возможно, даже главной.

Проблема наведенной сейсмичности уже имеет свою историю, которая началась с наблюдений сейсмических толчков при заполнении искусственных водохранилищ и при разработке полезных ископаемых.

Сегодня эта проблема получила новое звучание: теперь можно открыто обсуждать проблемы влияния на сейсмичность подземных ядерных взрывов, запуска тяжелых ракет, захоронения жидких радиоактивных отходов.

Анализ влияния на сейсмический режим коротких встрясок, несущих сейсмические волны от землетрясений и взрывов, позволили глубже заглянуть в природу явлений, понять, что Земля не только тензочувствительна, но и вибро-

чувствительна, то есть чувствительна не только к сжатию и деформациям, но и к колебательным воздействиям.

Исследования этих процессов уже более 20 лет развиваются в отделе эксперименталь-

ной геофизики, ставшем основой нового Института экспериментальной геофизики, организованного в рамках Объединенного института физики Земли РАН.

Исследуется влияние естественных (землетрясения, приливные волны, микросейсмы) и искусственных воздействий на отдельные землетрясения и сейсмический процесс в целом.

Изучены эффекты удаленных подземных ядерных взрывов, влияние разработок месторождений полезных ископаемых, режима водохранилищ, запусков крупных ракет. Обобщаются работы о влиянии искусственных и естественных воздействий различной природы на геодинамические процессы. Такой подход позволяет не

только увидеть природу вещей во всей ее сложности, но и оценить

степень влияния человека на естественные процессы. Понимание сложных механизмов взаимодействия природы и человека позволит в дальнейшем предвидеть последствия техногенных воздействий, планировать их и управлять ими.

Большое будущее своей науки геофизики видят в изучении связи физических полей (особенно электромагнитных) со многими планетарными явлениями, такими как геодинамический режим планеты, землетрясения, погода, биоритмика живых организмов и самочувствие людей.

Особое место в ряду геофизических методов занимают **радиометрические (радиоактивные) методы**, основанные на выявлении и изучении радиоактивности различных объектов. Широкое «признание» эти методы получили после Чернобыльской трагедии, которая заставила руководителей и хозяйственников со всей серьезностью относиться к очагам и территориям радиоактивного загрязнения и, соответственно, для контроля за этими явлениями прибегать к услугам геофизиков.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды — одна из наиболее острых проблем экологии. Повышенные концентрации радиоактивных элементов связаны как с естественными источниками, так и с деятельностью человека. Контроль радиоактивного загрязнения окружающей среды включает выявление участков с повышенной радиоактивностью, идентификацию излучающих нуклидов, определение их количества, установление источников поступления и зон преимущественного накопления.

Радиологические исследования проводятся фактически по всем регионам страны. Начиная с 1986 года, специалисты-геофизики концерна «Геологоразведка»

с помощью высокочувствительной аппаратуры и отработанных при поисках урана методик стали решать радиозэкологические задачи.

В комплекс радиозэкологических работ вошли **аэро- и автогамма-спектрометрическая съемки**, пешеходная гамма-съемка, наземное опробование с анализом на широкий круг радионуклидов

Проводится системное обследование на радиоактивность детских учебных заведений, радиационный контроль железных дорог с помощью специализированной железнодорожной автогаммаспектрометрической станции, выполняется эманационная съемка, измеряется концентрация радона в воздухе жилых и производственных помещений. Проводятся работы по районированию территории России по степени

опасности, вызванной естественными радиоактивными источниками, а также радиоопасности, связанной с деятельностью человека. Большую работу по предотвращению радиологической опасности в г. Москве проводит НПО «Радон».

Вопросы для самоконтроля

- 1) Приведите общую характеристику геофизическим методам исследования экосистем.
- 2) В чем состоят основные задачи геофизических методов исследования экосистем.
- 3) На чем основаны радиометрические методы анализа экосистем.
- 4) Дайте общую характеристику аэро- и автогамма-спектрометрической съемке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4

2. **Павлов, Д.С.** Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития / Д.С.Павлов, Б.Р. Стриганова, Е .Н.Букварева, Ю.Ю.Дгебуадзе.-М.: Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России, 2009.- 84 с.- ISBN-5-88305-054-9

3. Промышленная экология . Основы инженерных расчетов: учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В.Ряписова, Н.Р.Стрельцова.- М.: КолосС, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7

4. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 10

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

10.1. Гидрогеологическая съемка с эколого-геологическими исследованиями - комплексный метод получения информации о состоянии экосистем

Основными методами гидрогеологических исследований, широко используемыми при решении экологических задач, являются

- гидрогеологическая съемка,
- бурение гидрогеологических скважин,
- опытно-фильтрационные работы
- стационарные гидрогеологические наблюдения.

Гидрогеологическая съемка с эколого-геологическими исследованиями - комплексный метод получения информации о гидрогеологическом состоянии геологической среды.

Она представляет собой научно-производственные работы, выполняемые с целью изучения и картографирования региональных гидрогеологических, экогеологических условий территорий, выявления границ и объектов геологической среды, на которых целесообразна постановка мониторинга.

При проведении гидрогеологической съемки с экогеологическими исследованиями решаются следующие основные задачи:

- оценка техногенного воздействия на изменение качества подземных вод;
- оценка перспектив территории на хозяйственно-питьевые, минеральные, термальные и промышленные воды;
- выбор площадей для постановки поисков подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, орошения и обводнения пастбищ;
- обоснование постановки гидрогеохимических поисковых работ на рудные и другие полезные ископаемые с выделением перспективных участков;
- выбор объектов для ведения мониторинга геологической среды;
- получение исходной информации для создания региональных гидродинамических моделей бассейнов подземных вод как основы прогноза влияния процессов техногенеза на подземную гидросферу;
- выявление очагов и областей загрязнения подземных вод и геологической среды в целом;
- обоснование размещения региональной сети мониторинга геологической среды;
- оценка экологического состояния геологической среды и направленности процессов техногенеза;
- планирование участков для проведения крупномасштабных геоэкологических исследований;
- разработка комплексных мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод и геологической среды в целом.

Глубина изучения определяется необходимостью получения схематической информации о водоносных горизонтах разреза, которые могут влиять на геоэкологичес-

кие условия зоны картирования, а также выявление характеристик гидрогеологических параметров глубоких водоносных горизонтов и происходящих в них процессов. Зона изучения определяется в основном путем обобщения и анализа литературных и фондовых материалов. При этом составляются карты-схемы изученности территории.

В состав гидрогеологической съемки входят следующие исследования

- ландшафтно-климатические,
- геолого-тектонические
- геоморфологические,
- геохимические,
- гидрогеологические,
- инженерно-геологические,
- изучение техногенных объектов.

Основные задачи и методика выполнения каждого вида исследований детально изложены в нормативной литературе («Требования к гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 с эколого- геологическими исследованиями и картированием» — ВСЕГИНГЕО, М., 1995).

10.2 Типы гидрогеологических карт

Основной формой графического изображения результатов съемки являются гидрогеологические карты.

По назначению выделяют

- общие
- специализированные карты.

Первые используются при любых видах и целевых назначениях гидрогеологических изысканий и исследований, вторые связаны с решением конкретных задач.

Общие карты составляют по результатам гидрогеологических съемок главным образом в масштабе 1:200000—1:500000. На этих картах отображают:

- условия залегания и распространения подземных вод;
- их водоносность и водообильность;
- минерализацию и химический состав подземных вод;
- глубину залегания и пьезометрическую поверхность первого водоносного горизонта.

В силу этого общие карты называют сводными.

Специализированные карты служат дополнением к общим. Они характеризуют изменчивость тех свойств объекта, которые необходимо знать при выполнении специальных гидрогеологических расчетов.

К специальным картам относятся их следующие типы:

- водопроницаемости водоносного горизонта;
- гидро- и пьезоизогипс;
- общей эффективной мощности водоносного горизонта;
- удельных дебитов водоносных горизонтов,
- минерализации и содержания различных компонентов и газов в подземных водах;
- температуры подземных вод и плотности теплового потока;
- техногенных изменений гидрогеологических условий;
- модулей подземного стока;

- элементов баланса,
- условий питания и разгрузки подземных вод;
- модулей и формирования эксплуатационных запасов подземных вод;
- гидрогеологического районирования разного целевого назначения (для водоснабжения, охраны подземных вод от загрязнения и т.п.) и другие.

К специальным картам относятся также и прогнозные, которые составляют по результатам выполненных гидрогеологических расчетов. Они характеризуют будущие изменения в гидрогеологической обстановке, возникающие под влиянием строительства водохранилищ, орошения, работы водозаборов и т.п.

Специализированные карты чаще всего относят к категории детальных, но они могут составляться и для крупных регионов.

10.3. Метод бурения гидрогеологических скважин

Важным и надежным методом изучения гидрогеологических условий является бурение скважин и их гидрогеологическое опробование. Гидрогеологические скважины бывают

- поисковые,
- разведочные,
- разведочно-эксплуатационные,
- наблюдательные,
- водозаборные дренажные,
- нагнетательные и др.

Наблюдения за подземными водами при бурении скважин ведутся непосредственно при проходке скважин и при гидрогеологическом опробовании в процессе бурения.

Задачи таких наблюдений —

- выявление водоносности горизонтов,
- изучение условий их залегания,
- литологического состава и мощности водовмещающих пород,
- характера взаимосвязи водоносных горизонтов,
- химического состава подземных вод и другой гидрогеологической информации.

Для получения данных о водообильности и фильтрационных свойствах вскрытых водоносных горизонтов проводится специальное гидрогеологическое опробование. Оно осуществляется путем проведения кратковременных откачек или наливов, испытания пластов специальными опробовательными и испытательными комплектами, а также методом опережающего опробования.

Гидрогеологические наблюдения в процессе опробования вскрываемых горизонтов заключается в замерах и регистрации дебитов и измерениях уровней, как в процессе откачек, так и после их прекращения (восстановление уровня).

10.4. Опытнo-фильтрационные методы исследования

В состав опытнo-фильтрационных работ входят следующие методы изучения подземных вод:

- откачки,
- наливы и нагнетания в скважины,

- наливов в шурфы,
- экспресс-методы.

В зависимости от назначения все откачки из скважин подразделяются на три вида:

- пробные,
- опытные
- опытно-фильтрационные.

Они отличаются продолжительностью работ, технологией их выполнения и конструкцией опытного куста.

Пробные откачки являются наиболее массовым видом откачек и проводятся практически во всех гидрогеологических скважинах.

По результатам пробных откачек определяются гидрогеологические параметры водоносных горизонтов (дебит, величина понижения уровня, коэффициент фильтрации и т.д.). Проводится изучение взаимосвязи смежных водоносных горизонтов и поверхностных водотоков с подземными водами, устанавливается оптимальная производительность эксплуатационных скважин, а также решаются другие задачи.

Опытные откачки **подразделяются на**

- кустовые
- одиночные.

Одиночные опытные откачки проводятся для установления зависимости дебита от понижения $Q = f(s)$ и в отличие от пробных выполняются на две-три ступени понижения уровня.

Кустовые опытные откачки позволяют более надежно и полно изучить параметры потока в зоне влияния откачки, исключить влияние фильтра и при забойной зоны центральной скважины на точность определения параметров и, наконец, определить непосредственно показатель обобщенного соприкосновения скважин, что имеет большое значение для прогноза условий работы проектируемых водозаборных и дренажных сооружений.

Разновидностью кустовых откачек являются опытные групповые откачки, которые проводятся для изучения условий взаимосвязи водоносных горизонтов и определения основных гидрогеологических параметров на тех участках, где отбор воды из одиночной скважины не может обеспечить необходимой точности расчетов в связи с незначительными абсолютными величинами понижений уровня.

Опытно-эксплуатационные откачки из одной или нескольких скважин проводятся только на стадии детальных исследований в сложных гидрогеологических и экогеологических условиях.

Цель опытно-эксплуатационных откачек — установление закономерностей изменения уровней подземных вод или их качества при заданном водозаборе. Проводятся они 3 месяца и более при дебитах скважин, близких к проектному водоотбору, и их данные принимаются за основу при прогнозах условий работы водозаборных и дренажных сооружений.

Выбор вида откачки (пробная, опытная одиночная, кустовая или групповая, опытно-эксплуатационная) определяется ее целевым назначением и стадией исследований.

Пробные откачки выполняются на всех стадиях гидрогеологических исследований.

Опытные одиночные проводятся на стадиях предварительных и детальных исследований с целью определения зависимости дебита от понижения уровня. Результаты одиночных откачек используются для ориентировочной оценки водопрово-

димости. Информативность и надежность результатов одиночных откачек могут быть повышены при совместном их проведении и увязке с кустовыми откачками, расходомерией и резистивиметрией.

Опытные кустовые откачки осуществляются на стадиях предварительных и детальных исследований главным образом для определения расчетных гидрогеологических параметров и оценки граничных условий. Опытные кустовые откачки — основной вид геофильтрационного опробования, обеспечивающий правильную интерпретацию изучаемых гидрогеологических условий, надежное определение гидрогеологических параметров и контроль получаемых результатов.

Опытно-эксплуатационная откачка из одной или нескольких скважин проводится только на стадии детальных исследований в сложных гидрогеологических и экогеологических условиях для определения опытным путем возможной производительности водозабора или установления закономерностей изменения уровней при

его эксплуатации, а также возможного изменения качественного состава подземных вод. Откачку лучше проводить в период меженного стояния уровня подземных вод с одним максимально возможным дебитом (близким к проектному) продолжительностью 1—3 месяца и более.

Выбор местоположения и схемы опытного куста увязываются с положением и характером работы проектируемых инженерных сооружений (водозаборов, дренажей, каналов и др.).

Расположение опытного куста должно обеспечивать в первую очередь детальное изучение участков проектируемых инженерных сооружений и зоны их влияния.

Схема опытного куста должна быть такой, чтобы при длительности возмущения 5—10 суток и величине понижения уровня в скважинах 3—5 м обеспечивалось бы получение представительной информации о развитии депрессионной воронки в зоне фильтрации

и чтобы при этом разность понижений в соседних наблюдательных скважинах и понижение в наиболее удаленной наблюдательной скважине существенно превышали точность замеров уровня подземных вод, составляя не менее 0,2—0,3 м.

Количество наблюдательных скважин назначается в зависимости от

- степени сложности природных условий,
- степени неоднородности пластов,
- глубины залегания опробуемых горизонтов
- возможности использования в качестве наблюдательных других

гидрогеологических скважин.

Для обеспечения надежного определения расчетов гидрогеологических параметров, их осреднения и контроля количество наблюдаемых скважин должно быть не менее трех.

В сложных природных условиях (поровые грунтовые и трещинные грунтовые и напорные водоносные горизонты, слоистые толщи в условиях перетекания, неоднородность фильтрационных свойств) необходимо иметь 4—5 наблюдательных скважин, а в очень сложных природных условиях (трещинно-карстовые водоносные горизонты, существенная неоднородность, сочетание нескольких факторов аномальности) от 4 до 10 наблюдательных скважин.

Наблюдательные скважины располагаются по лучам, ориентированным в направлении выявленных или возможных изменений в гидрогеологических условиях

(по направлениям затухающей или преобладающей трещиноватости, резкого изменения фильтрационных или емкостных свойств пород и т. п.).

Опытные нагнетания и наливы в скважины проводят для изучения и оценки водопроницаемости обводненных пород в условиях, затрудняющих организацию откачек (глубокое залегание подземных вод, слабая водоотдача, невозможность обеспечения ощутимых понижений уровня и т. д.), а также при изучении фильтрационных свойств слабообводненных и необводненных пород зоны аэрации. Для оценки фильтрационных свойств верхней части зоны

аэрации (до глубин не более 5 м) применяют также наливы в шурфы.

Под опытными нагнетаниями следует понимать опыты, при которых осуществляется фильтрация воды при избыточном напоре под верхней границей опробуемого интервала. Если в процессе опыта уровень воды поддерживался в пределах толщи опробуемых горных пород, то это отвечает понятию опытного налива.

Сравнительная простота проведения опытных наливов и нагнетаний в скважины обусловили достаточно широкое использование этих методов: для определения водопроницаемости и удельного водопоглощения трещиноватых скальных пород; при выявлении необходимости цементации основания под инженерным сооружением; для опробования трещиноватых пород при выборе вариантов оснований для проектируемых сооружений; для проверки качества цементации скальных пород и оценки водопроницаемости водоупоров и т. д.

Опытные нагнетания — основной метод оценки водопроводимости неводоносных трещиноватых скальных и полускальных пород. Опытные наливы применяются, главным образом, в рыхлосвязных и трещиноватых породах зоны выветривания, относительная проницаемость которых характеризуется высоким удельным водопоглощением.

Обычно нагнетания и наливы проводятся при отсутствии наблюдательных скважин. Однако в целях получения наиболее точных показателей желательно иметь хотя бы одну контрольную скважину, в которой можно было бы регистрировать появление воды в процессе опыта.

Экспресс опробование водоносных горизонтов, основано на изучении реакции опробуемых объектов на кратковременное их возмущение. Оно применяется для предварительной оценки фильтрационных свойств и расчленения изучаемого разреза отложений по водопроницаемости как в процессе бурения гидрогеологических скважин (опережающее опробование с помощью специальных ус-

тановок и комплектов испытательных инструментов), так и после их сооружения (экспресс-откачки, экспресс-наливы, опробование пластов с помощью специальных приборов и пластоиспытателей, расходомерия, термометрия и др.).

Опережающее опробование водоносных горизонтов используется при вращательном бурении в рыхлых породах с применением глинистого раствора. Оно позволяет получить качественную и количественную характеристику опробуемых в процессе бурения водоносных горизонтов с точностью, достаточной для предварительных исследований.

Экспресс-откачки и экспресс-наливы основаны на использовании наблюдений за изменением уровня воды в скважине в результате кратковременного отбора или налива воды, применяются при изучении фильтрационных свойств пород с относительно невысокой проницаемостью ($0,01 < K < 5$ м/сут).

В проницаемых породах восстановление уровней происходит очень быстро, и это ограничивает возможность применения рассматриваемых методов.

10.5. Стационарные гидрогеологические наблюдения

Стационарные гидрогеологические наблюдения позволяют :

- дать количественную характеристику процессов формирования подземных вод,
- выявить основные закономерности пространственно-временного изменения их количества, качества и свойств,
- использовать эти закономерности для обоснования мероприятий по охране подземных вод.

Изучение режима подземных вод позволяет определить:

- необходимые для прогноза естественного или нарушенного режимов связи и зависимости элементов режима от природных и техногенных факторов;
- отдельные элементы водного баланса, используемые при обосновании водохозяйственных мероприятий и водобалансовых расчетах;
- характер и степень влияния хозяйственной деятельности на подземные воды для обоснования наиболее рациональных путей вод.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны. Они характеризуют один и тот же процесс — формирование подземных вод.

Водный баланс, обусловленный влиянием естественных (осадки, испарение, конденсация, подземный и поверхностный сток) и искусственных (орошение, потери воды из каналов и систем водоснабжения, подпор, дренаж, агрономелиоративные мероприятия и др.) факторов, предопределяет генетические основы, направленность и характер режима подземных вод. Изучение режима подземных вод осуществляется путем стационарных гидрогеологических наблюдений за изменением основных элементов режима (уровней, расходов, температуры, химического и бактериологического состава) по специально оборудованной сети наблюдательных пунктов

(скважин, источников, шурфов и колодцев). В районе нарушенного режима для наблюдений используются также водозаборные и дренажные сооружения, горные выработки и т.п.

10.6. Лабораторные методы в гидрогеологических исследованиях

Особое место в гидрогеологических исследованиях занимают лабораторные методы, которые включают определение:

- водно-физических и фильтрационных свойств горных пород;
- химического, газового и бактериального состава подземных вод;
- физико-химических показателей и изотопного состава вод и других характеристик.

Состав определяемых параметров и характеристик подземных вод в значительной степени зависит от видов освоения территории, технологии производств и других особенностей хозяйственной деятельности человека.

Прогноз изменений режима и качества подземных вод является итогом всех видов гидрогеологических исследований. В настоящее время для многих регионов России составлены и успешно функционируют постоянно-действующие геофильтрационные модели, которые, являясь частью мониторинга подземных вод, выполняют задачи хранения и обработки гидрогеологической информации и ведения прогнозно-

диагностических расчетов изменения режима и состава подземных вод при различных видах хозяйственного освоения территории. Результаты гидрогеологического моделирования и прогнозирования используются при выполнении работ по оценке воздействия существующих или проектируемых сооружений на окружающую среду (ОВОС).

Вопросы для самоконтроля

- 1) В чем состоят цели и задачи гидрогеологической съемки.
- 2) Что входит в состав гидрогеологической съемки?
- 3) Охарактеризуйте виды и типы гидрогеологических карт.
- 4) Какие бывают гидрогеологические скважины?
- 5) Охарактеризуйте состав опытно-фильтрационных работ.
- 6) Дайте общую характеристику откачек.
- 7) В чем назначение и состав стационарных гидрогеологических наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4
2. **Павлов, Д.С.** Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития / Д.С.Павлов, Б.Р. Стриганова, Е .Н.Букварева, Ю.Ю.Дгебуадзе.-М.: Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России, 2009.- 84 с.- ISBN-5-88305-054-9
3. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов:учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В.Ряписова, Н.Р.Стрельцова.- М.: КолосС, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7
4. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0
2. **Краснова , Т.А.** Экспертиза питьевой воды.Качество и безопасность: учебное пособие / Т.А.Краснова, В.П.Юстратов, В.М. Поздняковский .- М.:ДеЛи принт , 2011.-280 с .- ISBN 978-5-94343-227-9.

Лекция 11

КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

11.1. Предметная область инженерно-геологических методов исследования

Основными объектами инженерной геологии являются грунты (горные породы, находящиеся в пределах сферы взаимодействия сооружения с геологической средой) и экзогенные геологические процессы. При изучении этих объектов используется большой комплекс различных методов геофизики, геодезии, гидрогеологии, геохимии, горного дела и др. Мы рассмотрим лишь собственно инженерно-геологические методы получения информации, которые используются для решения экологических задач.

Весь комплекс инженерно-геологических методов экологической направленности подразделяется на полевые и камеральные.

К полевым методам относятся:

- инженерно-геологическая съемка
- пенетрация (зондирование),

К камеральным методам относятся: методы инженерно-геологической оценки территории или массивов горных пород.

11.2. Общая характеристика метода инженерно-геологической съемки

Инженерно-геологическая съемка представляет собой научно-производственные работы, выполняемые для изучения и картографирования природных региональных инженерно-геологических условий территории и выявления закономерностей их изменений под влиянием природно-техногенных факторов.

Выделяются следующие масштабы проведения инженерно-геологической съемки:

- 1:200 000;
- 1:50 000;
- 1:25 000—1:10 000.

Рассмотрим требования к инженерно-геологической съемки М 1:200000 с экологическими исследованиями, разработанные институтом ВСЕГИНГЕО.

Основной целью съемки является обеспечение информацией территорий массового промышленно-гражданского строительства, а также разработки мероприятий по рациональному использованию и охране геологической среды.

Съемка проводится, как правило, в районах сильно нарушенных хозяйственной деятельностью, и на территориях перспективных для освоения.

Основные задачи исследований:

- оценка территорий по условиям массового строительства и другого хозяйственного освоения;
- обеспечение разработки территориальных комплексных схем развития производственных сил и охраны природы;
- обеспечение разработки ТЭО крупных объектов строительства;
- инженерно-геологическая съемка экологического состояния геологической среды территории и направленности ее изменений, в том числе техногенных;

- обеспечение разработки ТЭО и планирования комплексов мероприятий по рациональному использованию и охране геологической среды от негативных воздействий хозяйственной деятельности;

- планирование и организация наблюдательной опорной сети геоэкологического мониторинга;

- планирование крупномасштабных инженерно-геологических съемок 1:25 000—1:10 000 и целевых геологических исследований для отдельных видов освоения территорий.

При инженерно-геологической съемке с эколого-геологическими исследованиями различают глубину картографирования и глубину изучения. Глубина картографирования определяется зоной активного влияния техногенеза (глубиной сферы взаимодействия сооружения и геологической среды). Вне криолитозоны она изменяется в зависимости от геологического строения территории от 20 до 50 м. Зона картографирования обязательно отображается на инженерно-геологической карте масштаба 1:200 000.

Глубина зоны изучения определяется глубиной развития и возможной активизации природно-техногенных процессов. Она отображается на разрезах и при необходимости на картах-схемах.

В состав инженерно-геологической съемки входят следующие виды исследований:

- климатические,
- гидрологические,
- почвенно-ботанические,
- геолого-тектонические,
- геоморфологические,
- гидрогеологические,
- собственно инженерно-геологические
- геоэкологические.

11.3. Климатические исследования

Климатические исследования должны обеспечить оценку влияния климата на свойства пород и природно-техногенных процессов, а также на условия взаимодействия геологической среды с инженерными сооружениями.

В процессе исследований должны быть получены следующие климатические характеристики:

- температура воздуха и ее колебания в средне- многолетнем цикле;
- температура почвогрунтов,
- глубина сезонного промерзания-оттаивания;
- влажность воздуха (относительная и абсолютная) и ее распределение по месяцам и сезонам:
- количество осадков (вид, средне многолетние годовые и месячные суммы за период наблюдений по месяцам);
- данные о снежном покрове (толщина средняя и максимальная, запасы влаги в снеге, продолжительность стояния, распределение в зависимости от рельефа);
- гололед и его распределение по месяцам;
- ветры (частота, скорость, преобладающие направления ветров, количества штилей);

- испарение и испаряемость.

Климатическая информация, как правило, собирается в организациях Росгидромета.

11.4. Общая характеристика гидрогеологических методов исследования

Гидрологическая информация необходима для оценки и прогноза развития природно-техногенных процессов (абразия, эрозия, подтопление, аккумуляция и др.), а также влияния поверхностных вод на свойства горных пород, устойчивость зданий и сооружений. Получение информации осуществляется путем сбора ее в организациях Росгидромета.

В состав информации входят следующие сведения:

- о площади водосборов, основных потоков, об особенностях водосборов (покрытости растительностью, закарстованности и т.д.);
- сток рек (среднегодовые и среднемесячные расходы воды и взвешенных наносов, минимальные и максимальные расходы, колебания уровней воды, внутригодовое распределение стока, модули стока, скорости течения воды);
- тип водного питания рек;
- минерализация и химический состав речных вод, в том числе их загрязненность и агрессивность химических загрязнителей;
- площадь водосборов (озер, прудов) и их характеристика (площадь зеркала, глубина и объем водной массы, минерализация и химический состав воды, режим уровней, частота и высота волн и т. д.);
- распространение и генезис болот, условия их водного питания, мощности торфа и ила, глубины твердого дна.

Гидрогеологические работы включают изучение:

- фильтрационных свойств пород зоны аэрации;
- глубины залегания и агрессивности подземных вод;
- загрязнения подземных вод на территории, где оно произошло, после завершения гидрогеологических исследований
- роли подземных вод как фактора развития природно-техногенных процессов (оползни, карст и т.д.);
- режима подземных вод на участках локального проявления ЭГП (оползни и т.д.).

Гидрогеологическая информация используется при построении карт типизации и районирования территории, а также при составлении математических моделей и прогнозировании природно-техногенных процессов.

11.5. Общая характеристика почвенно-ботанических методов исследования

Почвенно-ботанические исследования выполняются для оценки роли почв и растительности как фактора, влияющего на инженерно-геологическую обстановку: проявление и (или) активизации природно-техногенных процессов, изменения термического режима фунтов и т.д.

Материалы, как правило, собираются в агропромышленных и природоохранных организациях и включают следующие данные:

- типы почв,
- распаханность,
- засоленность,
- основные типы растительных сообществ, их распространение.

Для получения информации широко используют данные аэрокосмической съемки.

11.6. Общая характеристика геолого-тектонических методов исследования

Изучение геолого-тектонических условий необходимо для решения целого ряда инженерно-геологических задач: выделение геологических тел, картирование территории, предрасположенной к ЭГП и т.д.

При проведении геолого-тектонических исследований необходимо определить:

- принадлежность территории к определенным тектоническим структурам и положение их границ, то есть провести типизацию территории по структурно-тектоническому строению;
- основные элементы тектонического строения — складки, зоны дробления, системы трещин, сбросы, надвиги и т.д., а также закономерности их пространственного размещения;
- связь неотектонических структур разного ранга с глубинным тектоническим строением фундамента и чехла, их влияние на распространение и состав четвертичных отложений, воздействие тектоники на современные геологические и инженерно-геологические процессы;
- тектоническое строение склонов, определяющее их устойчивость и возможность возникновения или активизации ЭГП при хозяйственном освоении;
- состояние пород в зонах нарушений (степень трещиноватости, генезис трещин, закономерности их пространственного расположения, мощность и характер пород в зонах дробления, состава, структуры, текстуры и мощности горных пород).

Геолого-тектонические условия территории являются своеобразной базой при составлении карт районирования, типизации других.

11.7. Общая характеристика геоморфологических методов исследования

Геоморфологические исследования проводятся с целью получения информации для прогнозирования природно-техногенных процессов и определения устойчивости склонов.

В состав информации, получаемой по результатам геоморфологических исследований, входят следующие данные:

- морфометрия рельефа, его вертикальная расчлененность, степень эрозионного расчленения (густота речной и овражно-балочной сети);
- базисы эрозии, местные и региональные;
- строение и формы рельефа, их генезис, связь с геолого-тектоническими факторами;
- история развития рельефа;
- влияние рельефа на проявление и интенсивность процессов.

Основным источником сведений о геоморфологических особенностях территории являются материалы государственной геологической съемки, данные АКМ и результаты собственных полевых исследований, проводимых в процессе работ.

11.8. Общая характеристика инженерно-геологических методов исследования

Инженерно-геологические исследования включают изучение горных пород (грунтоведение) и геологических процессов (инженерная геодинамика).

В задачи изучения горных пород входят:

- инженерно-геологическое расчленение разреза на глубину предполагаемой сферы взаимодействия сооружения с горными породами, с выделением инженерно-геологических подразделений (элементов) от ранга формаций до литологических типов и видов горных пород в соответствии с нормативными документами;
- картографирование выделенных инженерно-геологических подразделений;
- определение свойств горных пород с целью получения обобщенных показателей для каждого стратиграфо-генетического комплекса и деформационных характеристик пород, выполняющих основание проектируемых сооружений;
- выполнение, типизация и картографирование техногенных пород и антропогенных образований;
- определение состава, свойств, закономерностей изменчивости всех выделенных стратиграфо-генетических комплексов пород, и в первую очередь техногенных.

Для всех выделенных инженерно-геологических подразделений особое внимание уделяется изучению пород с неблагоприятными или техногенно-измененными свойствами (плывуны, просадочные, засоленные, набухающие и т.п.). В криолитозоне дополнительно изучают суммарную льдистость, влажность минеральных прослоек, влажность за счет льда-цемента, объемную массу скелета мерзлых пород, их тепло-физические свойства.

Информация об эндогенных геологических процессах необходима для получения характеристик современной блочной тектоники (макро- и мезоблоки, направленность их современных вертикальных движений при наличии ранее проведенных наблюдений, величины абсолютных поднятий и опускании блоков), а в сейсмически опасных районах — региональной и локальной сейсмичности территории.

Эндогенные процессы изучаются по литературными фондовым материалам, путем дешифрирования КС и АФС, а так-

же в процессе проведения полевых работ с использованием геофизических и других методов.

При изучении экзогенных геологических процессов должны быть решены следующие задачи:

- выявлены территории, предрасположенные к развитию различных процессов, оценена пораженность этими процессами;
- изучены природные и техногенные факторы, определяющие возникновения и активность процессов;
- выявлены особенности проявления процессов (форма проявлений, глубина зоны развития, породы, с которыми связано развитие процессов);
- выполнен анализ катастрофических проявлений процессов и факторов их обуславливающих;
- установлена взаимосвязь разных видов процессов между собой и эндогенными геологическими процессами, то есть выявлены комплексы парагенетически связанных процессов;

- определено воздействие процессов на существующие и проектируемые здания и сооружения, а также эффективности средозащитных мероприятий.

Изучение процессов проводится путем дешифрирования КС и АФС с выполнением аэровизуальных, геофизических, мониторинговых и других работ.

В состав *геоэкологических исследований* входят: изучение техногенных объектов, геохимические исследования, радиометрические исследования.

При выполнении геоэкологических исследований должны быть изучены:

- промышленные и сельскохозяйственные предприятия как источники экологической опасности, а также полигоны захоронения отходов, отстойники, промышленные стоки и т.д.;

- виды, состав, объемы потребляемого сырья, отходы и содержание в них токсичных веществ;

- места систематических выбросов токсичных веществ промышленными предприятиями в атмосферу, поверхностные воды и подземные воды;

- виды, состав, количество удобрений и ядохимикатов, их использование сельхозпредприятиями.

При геохимических исследованиях в рамках геоэкологических работ изучаются:

- закономерности распределения токсичных нормируемых веществ в почвах, породах зоны аэрации, подземных водах, а также донных отложений водотоков и водоемов;

- загрязнение подземных вод должно изучаться в случае отсутствия материалов по гидрогеологической съемке;

- концентрация тяжелых металлов в растениях как индикаторах загрязнения геологической среды на локальных участках;

- взаимосвязь загрязнения почв, пород зоны аэрации с загрязнением подземных и поверхностных вод

Зона картографирования охватывает систему почвы-породы зоны аэрации, а в водоемах — современные донные осадки.

11.9. Задачи радиометрических методов исследования

Радиометрические исследования проводятся в обязательном порядке. При этом изучается:

- фоновые значения гамма-активности основных типов пород, залегающих в при поверхностной зоне;

- аномалии радиационного фона, которые могут быть закартографированы в масштабе 1 : 200000;

- защитная роль зоны аэрации (мощность, фильтрационные свойства, сорбционные способности);

- инфильтрационное питание подземных вод;

- условия латерального привноса загрязнения по водоносным пластам от выявления источников загрязнения.

По результатам инженерно-геологической съемки составляются карты различного содержания и назначения.

11.10. Пенетрационные методы исследования

Пенетрационные методы изучения горных пород широко используются при инженерно-геологических изысканиях и исследованиях.

Различают два вида пенетрации (зондирование):

- динамическое зондирование (забивные зонды)
- статическое зондирование (задавливаемые зонды).

Пенетрационные методы позволяют решать следующие задачи:

- детальное расчленение геологического разреза на слои и линзы литологического состава;
- выделение в разрезе маломощных ослабленных прослоев;
- определение относительной плотности пород;
- определение плотности и модуля деформации песчаных разностей пород;
- определение консистенции глинистых отложений.

Как отмечал Н.В. Коломенский, в зависимости от задач исследований, определяющих глубину зондирования, применяются следующие приборы:

- установки глубинного зондирования (до глубины нескольких десятков метров);
- плотномеры и ударники различных систем для мелкого зондирования (до глубины 1—2 м).

Кратко рассмотрим сущность каждого из выделенных видов зондирования.

Динамическое зондирование заключается в измерении сопротивления породы при забивке в нее свободно падающим молотом стального конуса. При забивке конуса определяют число ударов, необходимых для погружения зонда на определенную глубину. Это число является условным измерителем динамического сопротивления пород внедрению в них конуса. Результаты динамического зондирования часто используются в качестве моделирования забивки свай.

При **статическом зондировании** наконечник задавливается в горную породу. Это позволяет увеличить скорость задавливания и вести автоматическую регистрацию результатов. Установки статического зондирования снабжены каротажным устройством, позволяющим производить гамма-каротаж, нейтронный каротаж и другие. Такое комбинирование методов позволяет значительно расширить круг решаемых задач. Например, возможно определять уровень подземных (грунтовых) вод, объемный вес и влажность пород и т.д.

В настоящее время пенетрационные методы широко используются при инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканиях, и проведении специальных геоэкологических исследований.

В инженерной геологии применяются следующие методы оценки территории или массивов горных пород:

- косвенный,
- метод приближенного геологического подобия,
- вероятностно-статистические,
- типизации и механико-математические.

С помощью этих методов осуществляется систематизация материала, выполняется оценка состояния территорий и массивов горных пород, составляются прогнозы экзогенных геологических процессов.

Последние десятилетия сформировалось новое направления в инженерной геологии — **создание и ведение автоматизированных информационных систем (АИС)**. Эти системы реализуются на ЭВМ и позволяют оперативно решать большой комплекс задач: от хранения и оперативного получения первичной информации до математического моделирования и прогнозирования экзогенных геологических процессов, и выдаче рекомендаций по их нейтрализации. АИС рассматриваются как основные подсистемы целевых мониторингов, например, мониторинг экзогенных геологических процессов, мониторинг берегов водохранилищ и другие. В целом инженерно-геологические методы позволяют получать информацию о состоянии фунтов и экзогенных геологических процессов, обрабатывать эту информацию и на базе АИС составлять и перманентно вести математические прогнозные модели изменения геологической среды, которая определяет в значительной степени геоэкологические условия территории.

Вопросы для самоконтроля

- 1). В чем состоят цели и задачи инженерно-геологических методов исследования?
- 2). Что входит в состав инженерно-геологической съемки?
- 3). Дайте общую характеристику климатических исследований биогеоценозов
- 4). В чем состоят почвенно-ботанические исследования экосистем?
- 5). Охарактеризуйте геолого-тектонические методы исследования
- 6). В чем особенности геоморфологических методов изучения экосистем?
- 7). Приведите общую характеристику радиометрических методов исследования
- 8). Особенности пенетрационных методов исследования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Дмитриев, В.В.** Прикладная экология: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.В.Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н.Латочкин.-М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 608 с.- ISBN 978-5-7695-4196-4
2. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов:учебн. Пособие / С.В.Фридланд, Л.В.Ряписова, Н.Р.Стрельцова.- М.: КолосС, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7
3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.- 288с. ISBN-5-8114-0350-X

Дополнительная

1. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кучуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0
2. **Ягодин, Г.А.** Устойчивое развитие: человек и биосфера / Г.А.Ягодин, Е.Е.Пуртова.- М.:БИНОМ.Лаборатория знаний. 2013.- 109 с.- ISBN978-5-9963-1141-5

Лекция 12

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

12.1.Современные методы географического описания

При выполнении экологических исследований используется большой комплекс географических методов.

Основным методом географии является метод описаний. Географическое описание, во-первых — один из результатов исходного этапа географического анализа территории, этапа сбора фактического материала и его первичного или эмпирического обобщения.

Во-вторых, географическое описание территории — результат обобщения приведенных ранее исследований, причем ученых не одного поколения. Описание призвано отвечать на три вопроса:

- «Где расположено?»,
- «На что похоже?»,
- «Каков смысл географического явления?».

Одной из первых форм географических описаний было **эмпирическое**, дававшее характеристику окружающего мира. Характерным примером такого описания являются землеописания путешественников.

Современные методы географического описания могут быть:

- комплексными
- целевыми (проблемными).

К комплексным методам относятся

- ландшафтные описания местности
- эколого-географические описания территории.

Исходя из целей изучения объекта (территории), которые обуславливают принципы и способы отбора информации, выделяются целевые описания.

Кроме этого, принято различать

- описание элементарного природно-территориального комплекса (географической фации)
- физико-географическое описание территории разного уровня (региона, провинции, ландшафта и т.д.).

12.2.Понятие о географической фации

Географическая фация как элементарный природно-территориальный комплекс занимает один элемент микроформы рельефа, имеющий идентичное геолого-гидро-геологическое строение и характеризующийся однородностью микроклиматических условий.

В пределах географической фации размещается одна растительная ассоциация на элементарной почвенной разности. Таким образом, географическая фация является генетически однородным элементом географического описания. Примером фаций могут служить понижения поверхности высокой поймы, сложенные супесчаными

иловатыми суглинками и покрытые влажнотравно-злаковыми лугами на дерново-глеевых почвах.

12.3. Методы физико-географического описания ландшафта

Физико-географическое описание ландшафта значительно отличается от описания географической фации.

Ландшафт это относительно однородный в генетическом отношении комплекс, представляющий собой закономерное сочетание более мелких природно-территориальных комплексов. Следовательно, в описании ландшафта должна отражаться неоднородность территории, а само описание в отличие от фации имеет меньшую «детальность».

Кроме ландшафтных описаний существуют комплексные эколого-географические и экономико-географические описания территории, например конкретного территориально-промышленного комплекса. Такое описание построено на целостном системном изучении объекта и отражает его наиболее характерные особенности, как строения, так и функционирования.

Сравнительно-описательный метод, который широко применяется для выявления и описания районов-аналогов. Метод является основой районирования территории и выполнения различных прогнозно-диагностических задач экологической направленности.

В настоящее время практически для всех методов географических описаний разработано формализованное представление данных, позволяющее хранить и обрабатывать материалы на ЭВМ, а также сопоставлять данные исследований, выполненных разными специалистами в разное время.

Формализация географических описаний позволяет использовать их результаты для моделирования и прогнозирования изменений, происходящих с природно-территориальными комплексами и другими объектами географической науки.

Полученные прогнозы являются базой для любых экологических исследований.

12.4. Общая характеристика гидрометеорологического метода исследования экосистем

При проведении экологических исследований широко используются гидрометеорологические методы.

Гидрометеорология —раздел географической науки изучающий атмосферу и гидросферу, их состав, свойства и протекающие в них физико-химические процессы. Кроме изучения процессов и явлений, происходящих в гидросфере и атмосфере, в задачи гидрометеорологии входит установление закономерностей и прогнозирование их развития, а также определение возможностей управления ими.

Основными задачами гидрометеорологических исследований являются:

- наблюдения за состоянием природной среды;
- обеспечение народного хозяйства информацией о текущем и ожидаемом состоянии природной среды, прогнозами возникновения опасных гидрометеорологических явлений и уровней загрязнения окружающей среды;
- проведение работ по активному воздействию на гидрометеорологические процессы и явления в интересах народного хозяйства;
- учет количества вод и ведение водного кадастра;
- создание фонда данных о состоянии природной среды.

Гидрометеорологическая информация включает данные о количественных характеристиках окружающей природной среды, например: температура воздуха, воды, почвы, скорость ветра у земли и на высоте, уровни воды рек, морей и др. На практике используется два вида гидрометеорологической информации.

Первый вид — это полученные в результате непосредственных измерений значения параметров среды, необходимые при эксплуатации народнохозяйственных объектов и составлении гидрометеорологических прогнозов, а также прогностические характеристики, используемые в процессе управления предприятиями.

Второй вид — это вычисленные по данным наблюдений характеристики природной среды, необходимые при народнохозяйственном планировании и прогнозировании.

Опорная сеть гидрометеорологических станций служит основной базой для дачи прогнозов погоды, гидрологических прогнозов и др. Наблюдения на опорной сети ведутся постоянно. Гидрометеорологические станции дают информацию: о скорости и направлении ветра; гидрологическом режиме поверхностных водоемов, температуре воды, воздуха, почвы, глубинах водоемов, скоростях течения и колебания уровня воды.

12.5 Методы и средства гидрометеорологии

Рассмотрим методы и технические средства, используемые в гидрометеорологии для получения основных характеристик параметров природной среды, необходимых при проведении геоэкологических исследований.

Методы и средства измерения параметров ветра. При производстве приземных метеорологических наблюдений измеряются:

- средняя скорость ветра, как правило, за 10 минут
- максимальное значение за этот же интервал времени (скорость ветра при порывах);
- направление ветра;
- максимальная скорость ветра между сроками.

Направление ветра усредняется современными приборами за 10 минут, а при отсутствии этих приборов определяется визуально — по непосредственному наблюдению его изменения, поэтому осреднение направления производится за 2 минуты. Если на станции нет прибора с автоматическим осреднением скорости ветра за 10 минут, то и скорость ветра приходится усреднять по непосредственным наблюдениям за ее изменением. Такое осреднение применяется при определении скорости и направления ветра по флюгеру.

Для измерения скорости ветра применяются приборы, основанные на преобразовании энергии ветрового потока в механическое вращение различного рода вертушек, ветровых колес или воздушных винтов и определении скорости вращения этих агрегатов — такого рода устройства для измерения скорости ветра называются вращательными анемометрами.

Анемометры обычно подразделяют на :

- анемометры с вертикальной осью вращения
- анемометры с горизонтальной осью вращения.

К этой же группе приборов относятся термоанемометры, акустические (ультразвуковые) анемометры, ионизационные анемометры и другие, каждый из которых основан на воздействии ветра на температуру нагретого тела, скорость распространения звука или перенос ионизированных частиц.

Все эти приборы измеряют скорость воздушного потока.

Другую группу приборов составляют устройства, измеряющие силовые воздействия воздушного потока на различные тела:

пластины, шары, цилиндры и другие. За этими устройствами не установилось какого-либо обобщенного названия, но они принципиально отличаются от анемометров тем, что в результате измерения непосредственно получается сила ветра, которая зависит от плотности воздуха. К таким приборам относится флюгер Вильда, широко применявшейся на сети. К этой группе примыкают и приборы, измеряющие непосред-

ственно динамическое давление ветрового потока. Они составляют группу манометрических ветроизмерительных приборов. Прибором такого типа является ураганометр.

Для измерения направления ветра в большинстве случаев применяются различные флюгарки, вращающиеся вокруг вертикальной оси и устанавливающиеся в потоке под воздействием ветра на ее хвостовую часть.

В отдельных случаях (на полевых посадочных площадках для сельскохозяйственной авиации) употребляется ветровой конус. Материя натягивается широким конусом на металлическое кольцо, которое свободно вращается по вертикальной оси. Наполняясь ветром, конус поворачивается по потоку. Флюгер дает возможность

измерять среднюю скорость ветра до 20—40 м/с, максимальные порывы и направление ветра, максимальные значения скорости ветра и характеристику его порывистости.

Анемометры и флюгеры устанавливаются на метеорологической площадке, в северной ее части. На всех наблюдательных станциях принята единая высота установки: датчик приборов располагается на высоте 10—12 м от поверхности земли. Приборы ориентируются на географический север.

Производство наблюдений по флюгеру достаточно хорошо известно и сложности не представляет. Единственно, что надо помнить и соблюдать — это необходимость строгого учета времени наблюдений: 2 минуты — за направлением ветра и 2 минуты — за скоростью. Что касается анемометра, то при измерениях надо быть особенно внимательным.

Первое, что надо выполнять — это как можно точнее соблюдать установленное время измерений ветра в срок: средняя и максимальная скорость в интервале 15—5 минут до срока, то есть от 45 до 55 минут предшествующего часа, направление отсчитывается после возвращения с метеоплощадки. Затем, результаты измерений параметров ветра записываются в книжке наблюдений.

Измерение температур воды, воздуха, почвы. Прибором для измерения температуры воды является рудниковый термометр, шарик которого защищается набивкой из материала с малой теплопроводностью. Такой термометр воспринимает температуру воды, в которую опущен, в течение 2—3 минут; после того как термометр вынут из воды, температура не изменяется в течение некоторого промежутка времени, вполне достаточного для производства отсчетов. Деление шкалы водных термометров 0,2 или 0,5 градуса.

Приборов для измерения температур воздуха и почв достаточно много, однако наибольшее применение имеют:

- жидкостные термометры, действие которых основано на измерении объема жидкости при изменении температуры;
- деформационные термометры, действие которых основано на изменении линейных размеров твердых тел с изменением температуры:

- термометры сопротивления, действие которых основано на изменении электропроводности тел с изменением температуры;

- термоэлектрические термометры, действие которых основано на изменении электродвижущей силы термоэлементов при изменении разности температур спаев.

В практике наибольшее применение имеют стеклянные жидкостные термометры. При изменении температуры жидкостным термометром производится наблюдение видимого изменения положения мениска жидкости в капилляре термометра, который соединен с резервуаром. При изменении температуры изменяется объем жидкости. Но с изменением температуры термометра изменяется также и объем резервуара термометра. Эти изменения действуют противоположно друг другу. При повышении температуры объем жидкости в резервуаре увеличивается и уровень ее в капилляре повышается, но расширение самого резервуара несколько уменьшает увеличение объема жидкости. Наблюдаемое изменение уровня жидкости в капилляре термометра отражает разность изменений объемов жидкости и резервуара.

Термометр принимает температуру среды не мгновенно: он обладает некоторой инертностью. Возможная точность отсчета по шкале термометра определяется его чувствительностью к изменению температуры среды. Чем больше чувствительность термометра, тем больше точность отсчета по шкале. Характеристикой чувствительности является длина в миллиметрах одного градуса шкалы.

Жидкостные термометры бывают следующие:

- термометр психометрический ртутный — используется для определения температуры и влажности воздуха;

- термометр спиртовой низкотемпературный — используется для определения температуры воздуха ниже 35° С;

- термометр ртутный метеорологический — используется для измерения температуры поверхности почвы или снежного покрова.

Промеры глубин имеют целью выяснение рельефа дна и встречающихся в русле препятствий для судоходства: перекатов, мелей и т.п.

Для измерения глубин применяются следующие приборы:

- наметка,
- ручной лот,
- рыба-лот,
- эхолоты.

Наметка представляет собой шест. Длина наметки зависит от величины тех глубин, которые предположительно встретить на реке, а также от скоростей течения реки. Дело в том, что при больших скоростях течения обращение с длинной наметкой затруднительно и даже опасно. Нижний конец наметки снабжается легким железным

башмаком весом около 0,5—1 кг; нижняя поверхность башмака совпадает с нулем наметки. Точность отсчета по наметке — 5 см.

Ручной лот представляет собой свинцовую или чугунную гирю весом 4—5 кг, пирамицальной или конусообразной формы, сушком, к которому прикрепляется лотлинь. Во избежание усадки и вытягивания лотлинь погружается в воду на 2—3 суток, затем натягивается между двумя стойками, и к нему подвешиваются тяжелые грузы; после того как лотлинь высохнет, приступают к разбивке. Разбивка лотлиня производится следующим образом: стальной лентой отмеряется линия требуемой длины, и через каждый метр забиваются колышки. Растянув лотлинь, по направлению

линии и пользуясь рулеткой, размечают лотлинь через каждые 20 см. Ручной лот применяется для измерения глубин свыше 6 м, при скоростях течения не более 1 м/сек. Точность отсчета при применении лота — 10 см.

Рыба-лот применяется для измерения глубин более 6 м, при любых скоростях течения. Рыба-лот имеет ряд преимуществ по сравнению с ручным лотом: при применении ручного лота для измерения глубин рек со значительными скоростями течения наблюдаются большие отклонения лотлинии от вертикали, а отсюда ошибки в определении глубин. Так как после каждого измерения глубины ручным лотом необходимо извлекать лот из воды и снова его забрасывать, то производительность работ в этом случае значительно меньше, чем при применении рыбы-лота.

Эхолоты. Измерение глубин может быть произведено посредством эхолота с помощью отраженных от дна звуковых волн. Скорость распространения звука в воде зависит от солености и температуры воды. Главным достоинством эхолота является непрерывность промера. Точность определения глубин эхолота равняется 1 %, причем производится запись глубин на ленте при ходе судна до 30 км/час. При этом обследуется не линия, а полоса дна, равная по ширине приблизительно одной трети глубин.

Для определения скоростей течения применяются следующие способы: измерение скоростей течения в отдельных точках живого сечения и на определенной площади живого сечения. При этом чаще всего применяются: вертушки различных систем, поплавки поверхностные, гидрометрические трубки и барометр-тахиметр.

Вертушки могут быть различными:

- вертушка Вольтмана — сущность определения скоростей течения посредством вертушки заключается в следующем: число оборотов вертушки в единицу времени является функцией скорости течения воды. Поэтому, зная, какому числу оборотов лопастей вертушки в секунду соответствует та или иная скорость, можно определить величину последней, если опустить вертушку в воду и измерить число оборотов, сделанное лопастями в течение промежутка времени;
- вертушки с горизонтальной осью вращения и с открытой контактной камерой — эта вертушка снабжена механическим счетчиком оборотов;
- вертушки с горизонтальной осью вращения и с закрытой контактной камерой;
- вертушки с вертикальной осью вращения — пригодны для работ, как в чистой воде, так и в воде с большим содержанием наносов.

Поверхностные поплавки — поплавочное определение скоростей течения отличается по общей идее от вертушечных, прежде всего тем, что в первом случае измеряются приповерхностные скорости течения, во втором — скорости в различных точках на выбранных вертикалях. Измерение скоростей течения поплавками используется: при измерении скоростей течения на больших реках с сильным течением, где установка другого соответствующего оборудования бывает затруднительна; когда скорости течения настолько незначительны, что лопасти вертушек не вращаются.

Гидрометрические трубки — достоинством трубок является возможность измерения посредством их скоростей в малых потоках, также вблизи конуса русла. Поэтому трубки получили распространение преимущественно в лабораторной практике.

Барометр-тахиметр является прибором, служащим одновременно для взятия пробы воды и для измерения скоростей течения. Наблюдения за колебаниями уровня воды производятся на водомерных постах. Целью наблюдений является установление хода колебаний уровня воды, чтобы знать для каждого момента высоту

стояния воды в определенном пункте водоема. Кроме колебаний уровня воды, на водомерных постах наблюдаются температура воды и воздуха, водная растительность, наносы и др.

Типы водомерных постов бывают следующие:

- **Речные посты** устанавливаются на сооружениях, находящихся в русле реки или на берегу, как-то: на стенках набережных, на шлюзах плотин и т.п. В этом случае на сооружении прочно укрепляется постоянная рейка, по которой производятся наблюдения над уровнем воды. На плотинах устанавливаются две рейки для наблюдений уровней воды верхнего и нижнего бьефов;

- **Свайный пост** состоит из деревянных, железобетонных или чугунных свай. Наблюдения на свайном посту производятся по переносной рейке, которой снабжается наблюдатель поста. Переносная рейка имеет длину 1—1,5 м и разделена на деления по одному или два сантиметра. На каждом свайном посту устанавливаются поствору поста два постоянных репера;

- **Лимниграфы** — самопишущие водомерные приборы для получения непрерывной кривой колебаний уровня воды. Сущность устройства названных приборов следующая: поплавков, опущенный до уровня воды и снабженный нитью, перекинутой через колесо, передает колебания уровня воды на барабан, приводимый в движение часовым механизмом; посредством карандаша на бумаге, накрученной на барабан, вычерчивается график колебания уровня воды.

Результаты гидрометеорологических исследований являются базой для моделирования и прогнозирования процессов техногенеза. На их основе выполняется оценка воздействия проектируемых сооружений на окружающую среду, то есть экологическое обоснование любых видов хозяйственного освоения природных ресурсов.

Вопросы для самоконтроля

- 1). Основные задачи гидрометеорологических исследований.
- 2). Состав гидрометеорологической информации, используемой при геоэкологических исследованиях.
- 3). Какие существуют методы и средства измерения ветра?
- 4). В чем особенности измерения температуры разных сред?
- 5). Опишите методику и приборы для измерения глубин на водных объектах.
- 6). Способы определения скорости течения водотоков.
- 7). Как проводятся наблюдения за колебаниями уровня воды?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Антипова, А.В.** РРоссия. Эколого-географический анализ территории / А.В. Антипова .- Москва-Смоленск: Маджента, 2011.-384 с.- ISBN 978-5-98156-347-81

2. **Павлов, Д.С.** Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития / Д.С. Павлов, Б.Р. Стриганова, Е .Н. Букварева, Ю.Ю. Дгебуадзе.-М.: Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России, 2009.- 84 с.- ISBN-5-88305-054-9

3. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов: учебн. Пособие / С.В. Фридланд, Л.В. Ряписова, Н.Р. Стрельцова.- М.: КолосС, 2008.-176 С.- ISBN 978-5-9532-0546-7

4. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И. Розанов.-СПб.: Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. Кочуров, Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И. Кочуров.- Москва-Смоленск: Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0

Лекция 13

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ - ПЕРСПЕКТИВНАЯ ГРУППА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРРИТОРИИ

13.1. Понятийный аппарат дистанционных методов экологических исследований

Аэрокосмические методы — группа дистанционных методов с использованием летательных, воздушных и космических аппаратов. Внутри них выделяют:

- группу аэрометодов
- группу космических методов.

Аэрометод — это визуальный метод наблюдения с применением фото- и видеотехники с летательных аппаратов- самолетов, вертолетов и микроавиационных радиоуправляемых аппаратов. Результат — аэрофотоснимки. Данный метод был основным методом топографической съемки.

Сейчас ведущее место занимают:

- космическая фотосъемка,
- спектрометрическое исследование,
- радиометрическое исследование.

Космическая съемка имеет огромное достоинство перед аэросъемкой по следующим позициям:

- огромные обзоры территории (450х500 км);
- огромная скорость получения и передвижения;
- возможность многократного использования снимков одних и тех же объектов и территорий, что позволяет анализировать динамику явлений и объектов (например: снимки озоновой дыры, развитие процессов опустынивания).

Аэрометоды и космические методы за сравнительно короткий срок внесли важный вклад в изучение поверхности Земли, ее природных ресурсов, а также процессов, происходящих в атмо-, гидро-, био-, педо-, литосферах.

Наиболее ценными особенностями этих методов являются:

- оперативность получения информации,
- объективность передачи информации,
- возможность получения изображения различной степени генерализации (от глобальной до детальной),
- возможность одновременного изучения основных оболочек Земли.

В последнюю четверть XX в. приоритетными направлениями аэрокосмических исследований становится изучение техногенной деятельности и ее последствий. Все большее значение приобретают исследования влияния техногенных процессов на природные и природно-техногенные системы, а природных процессов — на территории, освоенные человеком.

Из существующих средств аэрокосмического зондирования наиболее эффективными для геоэкологии являются фотографические системы, которые обладают высоким разрешением и возможностью получения стереоэффекта. Космическая информация имеет большое значение для обнаружения быстро протекающих и катастрофических явлений — выбросов в атмосферу вредных веществ, сбросов в воду вредных отходов, землетрясений, оползней и т.д.

Для этих целей используются космические аппараты, проходящие над одной и той же точкой Земли через минимальные промежутки времени.

Изучение поверхности ведется при различных длинах волн — в оптическом, инфракрасном и радиоволновом диапазонах.

Таким образом, имеется возможность наблюдать Землю не только в ее естественном виде, но и «видеть» ее тепловое поле со всеми температурными аномалиями и получать изображение независимо от времени суток и наличия облачности.

Широкое применение и большие перспективы имеют аэрометоды (с использованием самолетов и вертолетов), как традиционные — аэрогаммаспектрометрические, так и сравнительно новые — тепловые.

Последние эффективны для выявления и контроля загрязнения акваторий, процессов самовозгорания в свалках и терриконах, пожаров горючих полезных ископаемых, торфяников и т.п.

Спектр использования аэрокосмических данных весьма широк: это и выявление локальных объектов природных и техногенных воздействий на окружающую среду и выполнение наблюдений в мониторинговом режиме, как за отдельным объектом, так и на региональном уровне.

Дистанционные неконтактные методы контроля включают:

- радиоакустическое зондирование (эхолокаторы),
- радиолокационные методы, которые представлены тремя методами:
 1. облучение объекта радиоволнами и прием отраженных от него радиоволн,
 - облучение объекта и прием переизлученных им волн,
 2. прием радиоволн. Излучаемых самим объектом.

Получение изображений местности с помощью радиолокационной аппаратуры, установленной на летательных аппаратах, называется **радиолокационной съемкой**.

Она может проводиться в сложных метеоусловиях и в любое время суток, а также для изучения объектов укрытых снегом, растительностью и т.д. Этот вид съемки дает дополнительно обширную информацию, которая может отсутствовать на прямых фотографиях.

Радарная аэросъемка (РАС) — позволяет получить изображения местности с помощью радаров, установленных на летательных аппаратах. РАС применяют для изучения значительных площадей и получения изображения даже малых масштабов. Поэтому РАС является мощным обобщающим способом изучения ландшафтных особенностей местности.

В сельском хозяйстве получили широкое развитие аэрометоды почвенно-растительного контроля с использованием лазерной и радарной техники. Эти методы позволяют определить высоту деревьев, количество растений, измерить поток энергии, входящей в экосистему и выходящей из нее. Активно развиваются лазерные исследования, которые помогают провести экспрессно учет пастбищных земель и неиспользованных участков, измерить очаги фитопатогенных факторов, выявить лесные пожары.

13.2. Общие представления о технических средствах дистанционных методов изучения экосистем

Дистанционные методы экологического мониторинга включают систему наблюдения при помощи самолетов, аэростатов, спутников и спутниковых систем и др.

Российские спутники серии «Ресурс» обеспечивают получение многоканальной космической информации высокого и среднего разрешения с помощью сканеров видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Космическая гидрометеорологическая система «Метеор» проводит глобальный экологический мониторинг территории России. Она позволяет оперативно получать изображение облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах, данные о температуре и влажности воздуха, температуре морской поверхности и облаков.

Российская космическая система «Океан» обеспечивает получение радиолокационных, микроволновых и оптических изображений земной поверхности. Кроме того, проводится наблюдение за состоянием ледовой обстановки в Арктике и Антарктиде, проводятся суда в сложных ледовых условиях.

В целом дистанционные спутниковые методы исследования позволяют успешно решать следующие задачи состояния экосистем:

- контроль динамики атмосферных фронтов, ураганов, получение карт крупных стихийных бедствий,
- определение метеорологических характеристик : вертикальных профилей температуры, интегральных характеристик влажности, распределении е облачности,
- определение температуры подстилающей поверхности, экспрессный контроль и классификация загрязнений почвы и природных вод,
- обнаружение выбросов промышленных предприятий, контроль техногенного влияния на лесопарковые зоны,
- обнаружение пожаров и пожароопасных зон ,
- выявление тепловых аномалий и тепловых выбросов производств и ТЭЦ в городах,
- установление дымных шлейфов от труб предприятий.
- мониторинг и прогноз сезонных паводков и разливов рек,
- контроль динамики снежных покровов и загрязнений снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий.

13.3. Методы обработки аэрокосмической информации

Схема выполнения аэрокосмических исследований включает следующие этапы:

1. получение снимка объекта исследования,
2. работа со снимками (дешифрование и фотограмметрическая обработка)
3. составление по снимкам карт , 4. подготовка геоинформационных систем,
5. разработка прогноза состояния экосистемы.

Дешифрование аэроснимков – один из методов изучения и картографирования местности по ее изображению, полученному путем аэросъемки. Общие принципы дешифрования состоят в следующем:

- используются зависимости между свойствами наземных объектов и характером их воспроизведения на аэрофотоснимках. Между самими объектами в натуре и элементами аэрофотоизображения заснятой территории,
- рациональный выбор условий аэрофотосъемки для повышения дешифруемости,
- особенности изучаемых объектов местности, наличие дешифровочных признаков,
- обеспечение приборами и материалами картографического значения,

- подготовленность исполнителей.

Дистанционное зондирование имеет целью получение снимков или изображений с требуемыми радиометрическими и геометрическими характеристиками. Основные этапы обработки данных дистанционного зондирования состоят в следующем:

- **предварительная обработка**-это прием спутниковых данных, запись их на магнитные носители, декодировка и корректировка. Преобразование данных непосредственно в изображение или перевод космических снимков в форматы, удобные для дальнейшего изучения.

- **первичная обработка**- исправление искажений, вызванных нестабильностью работы космических аппаратов или датчиков, а также географическая привязка изображения с наложением на него сетки координат, изменение масштаба изображения и представление изображений в необходимой географической проекции. Этот процесс иногда называют геокодирование.

- **Вторичная обработка**- цифровой анализ с применением статистических методов обработки, визуальное дешифрование и интерпретация в интерактивном или полностью автоматизированном режиме. Процесс называют тематическая обработка.

Методы обработки аэрокосмической информации позволяют помимо планового положения объектов, также определить их высоту или отметку, что становится возможным по паре снимков, на которых изображен один и тот же участок местности. Для получения высотной составляющей по снимкам их обрабатывают в стереоскопическом режиме, применяются специальные устройства для стереонаблюдения. Вместе с тем, погрешности определения высоты объекта зависят от высоты полета носителя, чем он выше находится, тем больше ошибка.

Второй способ извлечения информации из аэрофотоснимков -фотограмметрическая обработка., которая может ответить на вопросы где находится исследуемый объект и каковы его геометрические характеристики.Для этого выполняется трансформация снимков и их изображение переводится в картографическую проекцию. Это позволяет определять по снимкам положениеобъектов и их изменение во времени.

Для расшифровки аэрокосмических снимков широко используют компьютерные технологии, они позволяют решать следующие задачи:

- визуализация цифровых снимков,
- геометрические и яркостные преобразования снимков, включая их коррекцию,
- конструирование новых производных изображений по первичным снимкам,
- определение количественных характеристик объектов,
- компьютерное дешифрование и классификация снимков.

Можно выделить следующие особенности дешифрования:

- на снимках находят изображения не все, а только определенные свойства объектов,
- объект представляется на снимке в обобщенном виде, отсутствуют многие детали,
- на снимке запечатлен только определенный момент состояния объекта
- на снимках изображаются объекты невидимые с земли из-за слишком большого размера,

- изображения на снимках не соответствует привычному для нас виду, так как необычным является ракурс наблюдения- сверху.

При аэрокосмическом зондировании поверхности Земли применяют разные методы дешифрования снимков:

1. прямой,
2. контрастно-аналоговый,
3. ландшафтно-индикационный.

Использование **прямого метода** происходит только для геологически открытых районов, где коренные породы выходят на поверхность. Прямой метод дешифрования позволяет устанавливать поля развития горных пород различного состава и генезиса, характер их залегания, тектонические нарушения.

Контрастно-аналоговый метод используют при работе с аэрофотома-териалами и космическими снимками всех уровней как в геологически откры-тых, так и в геологически закрытых районах.

Ландшафтно-индикационный метод дешифрования применяют в геологически закрытых районах при работе с аэрофотоснимками среднего и высокого уровня разрешения. При этом различают два способа дешифрования:

1. **полевое дешифрование**- на местности-отличается высокой степенью достоверности, но высокой стоимостью и метеозависимостью, Этот вид представлен в 3-х вариантах-наземное и аэровизуальное дешифрование и подспутниковые наблюдения.

Полевое дешифрование заключается в сопоставлении изображения на снимке или фотоплане с местностью. Наземное дешифрование может быть сплошным, выборочным,маршрутным. На открытой местности дешифровщик может наблюдать полосу шириной до 500 м, в заселенной, с пересеченным рельефом- не более 300 м. Наземное дешифрование включает все этапы подготовки:

-просмотр , по возможности стереоскопический – стереоочками, полевыми карманными стереоскопами-«Топопрет»;

-подготовка снимков- для равнинной территории –единого масштаба снимков, для горной местности- масштаб отдельно для долин и отдельно для склонов и хребтов. После просмотра снимков составляется предварительный вариант легенды.

Аэровизуальное дешифрование выполняется с борта самолета или вертолета. Заранее необходимо прогнозировать маршрут полета, тнанести его на карту, подготовить и систематизировать съемочный материал. Обработка данных при аэровизуальном дешифровании включает оформление, корректировку и расшифровку в тот же день.

Подспутниковые наблюдения это единовременное получение информации об объекте на земле с воздуха или из космоса. Виды работ при этом комплексные:

- съемка с самолета разной аппаратурой,
- синхронная съемка из космоса,
- пектрометрирование с воздуха и на земле,
- описание состояния всех объектов земной поверхности на изучаемом участке , измерения, взятие проб.

Положительным в этом изучении является –большой охват территории, достоверность. Недостатками являются специальные работы по синхронизации исследований.

2. **камеральное дешифрование**- это распознавание объектов на снимках в лабораторных условиях, путем сопоставления изображения с имеющимися эталонами. К методам камерального дешифрования относятся:

- визуальное- выполняется дешифровщиками по фотоматериалам и на экране монитора,
- автоматизированное – выполняется специальными приборами, но требует снимков высокого качества.

Вопросы для самоконтроля

- 1). Основные задачи аэрометодов исследования
- 2). Что представляет собой радиологическая съемка?
- 3). Охарактеризуйте технические средства дистанционного исследования экосистем
- 4). В чем состоят особенности дешифрования аэрокосмических снимков?
- 5). Объясните основные этапы обработки данных дистанционного зондирования
- 6). Общая характеристика метода подспутникового наблюдения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Антипова, А.В.** Рлоссия. Эколого-географический анализ территории / А.В.Антипова .-Москва-Смоленск:Маджента, 2011.-384 с.- ISBN 978-5-98156-347-81
2. Методы полевых экологических исследований: учеб. Пособие /авт. Коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Березина; редкол.: А.Б.Ручин (отв. ред.).-Саранск:Изд-во Мордов. ун-та, 2014.-412 с.- ISBN 9678-5-7103-2874-3
3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,- 2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X

Дополнительная

1. **Власов, М.Н.** Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор / М.Н.Власов.-М.:Наука,1999.- 240 с.- ISBN5-02-004461-X.
2. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кучуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 14

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭКОЛОГИИ – ВИДОВОЙ И БИОЦЕНОТИЧЕСКИЙ УРОВНИ.

14.1.Биоиндикация, биоиндикаторы, типы биоиндикационных реакций организмов

Все биологические системы – будь то организмы, популяции или биоценозы – в ходе своего развития приспособились к комплексу факторов местообитания. Они завладели внутри биосферы определенной областью, экологической нишей, в которой находят подходящие условия существования и могут нормально питаться и размножаться. Каждый организм обладает в отношении любого действующего на него фактора генетически детерминированным, филогенетически приобретенным, уникальным физиологическим диапазоном толерантности, в пределах которого этот фактор является для него переносимым. Если фактор отличается слишком высокой или слишком низкой интенсивностью, но еще не летален, то организм находится в физиологическом пессимуме. За пределами некоторого минимального и максимального значения фактора дальнейшая жизнь невозможна. В ограниченной области интенсивности фактора, особо благоприятной для данной особи, организм существует в условиях физиологического оптимума. Физиологический диапазон толерантности обычно неодинаков для разных стадий развития организма и для всех особей данной популяции.

При широкой амплитуде толерантности организмы называются эврибионтными, при узкой – стенобионтными. Нередко развитие организма зависит от фактора, интенсивность которого близка к крайним переносимым значениям, т. е. соответствует физиологическому пессимуму. Поэтому изменение его значений в сторону оптимума вызывает наибольшие экологические воздействия. Правда, и в этом случае общее развитие всегда определяется взаимодействием всех воздействующих факторов [61].

Будучи взаимозависимыми, отдельные факторы могут до известной степени взаимозаменяться. Различные сочетания факторов вызывают сходные эффекты, хотя их полной взаимозамещаемости не происходит. Физиологическая толерантность организма определяют его индикаторную ценность. В результате каждая биологическая система (организм, популяция, биоценоз) может являться характеристикой факторов среды, которые воздействует на нее, такими факторами являются: природные, а также измененные человеком или антропогенные.

Метод оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем часто называют **биоиндикацией** (лат. *indicare* – указывать)

В соответствии с этим организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки, называются **биоиндикаторами**.

Это емкое определение относится и к индикации природных условий местообитания в целом, осуществляемой, например, в сельском и лесном хозяйстве по присутствию растений, характерных для определенного экотопа.

Однако часто понятие биоиндикации, включающее условия сравнения результатов, применяется исключительно для зависящей от времени оценки антропогенных или испытывающих антропогенное влияние факторов среды на основе

изменения количественных характеристик биологических объектов и систем .

Антропогенные воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой – обуславливают антропогенную модификацию уже имевшихся природных факторов и тем самым изменение свойств биологической системы. Если эти новые параметры значительно отклоняются от соответствующих исходных величин, то возможна биоиндикация .

При биоиндикации изменения биологической системы всегда зависят как от антропогенных, так и от природных факторов среды. Эта система реагирует на воздействие среды в целом в соответствии со своей предрасположенностью, т. е. такими внутренними факторами, как условия питания, возраст, генетически контролируемая устойчивость и уже присутствующие нарушения.

Существуют различные **формы биоиндикации**:

➤ Если две одинаковые реакции вызываются различными антропогенными факторами, то говорят о **неспецифической биоиндикации**.

➤ Если же те или иные происходящие изменения можно связать только с одним фактором, речь идет о **специфической биоиндикации**.

➤ Если биоиндикатор реагирует значительным отклонением жизненных проявлений от нормы, то он является **чувствительным биоиндикатором**.

➤ **Аккумулятивные биоиндикаторы**, напротив, накапливают антропогенные воздействия большей частью без быстро проявляющихся нарушений. Такое значительное накопление, загрязнение, постепенно превышающее нормальный уровень, чаще всего происходит на уровне экофизиологических или биоценотических процессов.

Обычно в природе все виды биоиндикации включены в цепочку последовательно происходящих реакций или процессов.

➤ Если антропогенный фактор действует непосредственно на биологический элемент, то речь идет о **прямой биоиндикации**.

➤ Нередко биоиндикация становится возможной только после изменения состояния под влиянием других непосредственно затронутых элементов. В этом случае мы имеем дело с **косвенной биоиндикацией** и косвенным биоиндикатором.

Например, при применении 2,2-дихлорпропионовой кислоты доля злаков на суховатом лугу уменьшается примерно с 55 до 12 – 14% и соответственно увеличивается доля разнотравья (прямая биоиндикация на трофическом уровне первичных продуцентов). Это изменение соотношения злаков и разнотравья влечет за собой сдвиг в пропорции прямо- и равнокрылых (косвенная биоиндикация на трофическом уровне консументов 1-го порядка).

Часто желательно заблаговременно обнаружить биологическое действие антропогенного фактора, для того чтобы при известных условиях иметь возможность произвести направленное вмешательство. Наличие очень чувствительных биоиндикаторов приводит к **ранней индикации**, когда реакция заметна уже при минимальных дозах спустя очень короткое время и происходит в месте воздействия фактора на элементарные молекулярные или биохимические процессы.

В зависимости от времени развития биоиндикационных реакций можно выделить **шесть различных типов чувствительности**:

I тип: биоиндикатор дает спустя определенное время, в течение которого он никак не отвечал на воздействие (отсутствие эффективного уровня), одноразовую сильную реакцию и тут же теряет чувствительность (выше верхнего эффективного уровня).

II тип: как и в первом случае, реакция внезапная и сильная, однако продолжается известное время, а затем резко исчезает.

III тип: биоиндикатор реагирует с момента появления нарушающего воздействия, с одинаковой интенсивностью в течение длительного времени.

IV тип: после немедленной сильной реакции наблюдается ее затухание, сначала быстрое, потом более медленное.

V тип: при появлении нарушающего воздействия начинается реакция, становящаяся все более интенсивной, пока не достигает максимума, а затем постепенно затухает.

VI тип: реакция V типа неоднократно повторяется; возникает осцилляция биоиндикационных параметров.

14.2. Антропогенные факторы, вызывающие стресс у биологических систем

Понятие «стресс» весьма различно используется во многих областях науки. Стресс можно разделить на два различно действующих типа:

➤ **Эустресс** характеризуется физиологическими адаптивными реакциями, которые вызываются в организме биоэнергетическими процессами, когда в критических ситуациях живому существу необходимо приспособиться к изменившимся условиям среды.

➤ **Дистресс** означает патогенные процессы, возникающие, как правило, при постоянных нагрузках или усилиях, которые индивид не в состоянии регулировать короткое или длительное время.

В какой мере тот или иной стрессор обуславливает эустресс, или дистресс, зависит от многочисленных факторов, например от экзогенного сочетания раздражителей и от внутреннего состояния организма.

Генетическая конституция каждого организма обуславливает его определенную реакционную способность по отношению к воздействующим стрессорам. При возникновении стресса большую роль играет также фактор времени, связанный как с развитием в онтогенезе чувствительности к стрессу, так и с продолжительностью воздействия какого-либо эффективного стрессора на протяжении различных периодов жизни.

В биологии под *стрессом* понимается реакция биологической системы на экстремальные факторы среды (стрессоры), которые могут в зависимости от силы, интенсивности, момента и продолжительности воздействия, более или менее сильно влиять на систему. В естественных условиях организмы часто подвергаются воздействию различных биотических и абиотических стрессоров. К ритмически повторяющимся экстремальным условиям среды, например холоду, жаре, засухе, многие организмы приспособились путем периодического изменения активности (впадая в спячку или криптобиоз), что делает их устойчивыми к влиянию стрессоров (толерантность к стрессу).

Другие организмы могут уклоняться от воздействия экстремальных условий среды при помощи специфических приспособлений (избегание стресса); например, глубокоукореняющиеся растения нечувствительны к поверхностному пересыханию почвы; ряд растений ставит на пути стрессоров химические или физические барьеры. Толерантность и избегание создают устойчивость к стрессу.

Обзор вероятных стрессов в окружающей организмы среде представлен ниже.

Стрессоры окружающей среды:

|

1. Биотические стрессоры:

- Инфекция,
- Конкуренция,
- Хищничество.

2 Абиотические факторы:

- Температура,
- Водный режим,
- Излучение,
- Ветер,
- Давление,
- Шум,
- Магнетизм,
- Электроток,
- Химические вещества.

В свою очередь температура может изменяться от низкой (холод, мороз) до высокой (жара).

Стрессор «водный режим» также может изменяться:

- дефицит воды (засуха),
- избыток воды (затопление).

Химические вещества загрязнители или стрессоры могут быть представлены широким кругом газообразных веществ, твердых и жидких оксидов, гидроксидов, солей различных типов, органических соединений различных классов

Невозможно по отдельности перечислить все антропогенные стрессоры, которые либо модифицируют имеющиеся факторы среды и тем самым превращают их для многих организмов в стрессовые, либо действуют непосредственно .

Один только огромный прогресс в области транспорта, гигиены и пищевой промышленности способствовал возникновению в минувшие десятилетия тысяч новых химических продуктов, часть которых обладает экстремальной биологической активностью.

Все же все антропогенные стрессоры, так же как и природные, могут быть подразделены на абиотические и биотические нарушающие факторы. Они также вызывают либо упругие, либо пластические нагрузки.

Опасность антропогенных стрессоров состоит, прежде всего, в том, что биологические системы – будь то организмы, популяции или биоценозы недостаточно адаптированы к ним. Антропогенные стрессоры создаются с такой скоростью, что эти системы часто не успевают активизировать соответствующие адаптационные процессы .

Многие антропогенные факторы среды потому и становятся опасными для живого (стрессорами), что они крайне отличны по величине, интенсивности, продолжительности и моменту воздействия от той обычно существующей в природе нормы, к которой адаптированы биологические системы. В результате они часто влияют на диапазон толерантности, что нередко приводит к превышению допустимой нагрузки на организмы и к распаду биологической системы.

Кроме того, следует обратить внимание на то, что в природе на организм воздействует не один какой-нибудь стрессор, а всегда наблюдается целый комплекс нарушающих факторов (комплексное стрессовое воздействие среды) . При этом, разумеется, какой-либо отдельный фактор может временно или постоянно доминировать. В связи с этим понятно, что реакции организмов на стрессоры в

лабораторном эксперименте не всегда совпадают с наблюдающимися в естественных условиях. Поэтому исследования комбинированного воздействия средовых нагрузок, т. е. комплексного стрессового воздействия среды, являются принципиально важными для установления допустимой нагрузки и стабильности биологических систем в нарушенной среде со многими антропогенными стрессорами.

14.3. Биоиндикация на различных уровнях организации живой Материи

Биоиндикация может осуществляться на различных уровнях организации живого (макромолекула, клетка, орган, организм, популяция, биоценоз). Обычно с повышением уровня организации биологических систем возрастает и их сложность, так как одновременно все более усложняются их взаимосвязи с факторами местообитания. При этом биоиндикация на низших уровнях диалектически включается в биоиндикацию на высших уровнях, выступая на них в новом качестве. В то время как на низших уровнях организации биологических систем преобладают прямые и чаще специфические виды биоиндикации, связанные с воздействием какого-либо определенного стрессора, на высших уровнях господствует косвенная биоиндикация.

В связи со сложностью биологических систем нередко бывает возможна лишь неспецифическая биоиндикация. Однако именно здесь открываются пути к выявлению комплексных стрессорных воздействий и тем самым к оценке допустимых нагрузок на сложную экосистему]. Иногда биоиндикационные методы, легко применимые на низших организационных уровнях, так усложняются в более комплексных системах, что различить влияние фактора становится невозможным. С другой стороны, биоиндикационные признаки, обнаруживаемые на высшем организационном уровне, связаны с соответствующими изменениями на предыдущих уровнях. При поисках возможностей ранней биоиндикации, очевидно, следует учитывать эту закономерность. По сравнению с отдельными организмами экосистемы реагируют на стрессовые воздействия чаще всего с запаздыванием и в сильно измененной форме. Разнообразие элементов систем, а также их сложное взаимодействие часто приводит к большим трудностям при выделении среди различных ее ответов на варьирующие входные сигналы стрессовых реакций .

Изменения функций отдельных компонентов, обусловленные стрессовым воздействием, иногда полностью или частично сглаживаются за счет других. Порой стрессовые нагрузки на экосистемы могут быть выявлены только по выходящим за пределы нормы сопутствующим явлениям.

В соответствии с организационными уровнями биологических систем можно установить различные **уровни биоиндикации**, которые, впрочем, нельзя строго разграничить:

- 1-й уровень: биохимические и физиологические реакции;
 - 2-й уровень: анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения;
 - 3-й уровень: флористические, фаунистические и хорологические изменения;
 - 4-й уровень: ценотические изменения;
 - 5-й уровень: биогеоценотические изменения;
 - 6-й уровень: изменения ландшафтов.
- При биоиндикации следует учитывать четыре основных требования :
- Относительная быстрота проведения,

- Получение достаточно точных и воспроизводимых результатов,
- Присутствие объектов, применяемых в целях биоиндикации, по возможности в большом количестве и с однородными свойствами,
- Диапазон погрешностей по сравнению с другими методами тестирования не более 20%.

Обычно результаты биоиндикации хорошо поддаются математической обработке. С помощью линейного и нелинейного дискриминантного анализа для каждого временного интервала можно выявить достаточно надежные биоиндикационные признаки, дискриминантные функции которых, например, одновременно представляют собой математическое описание систем индикации. Тем самым предоставляется возможность применения биоиндикации в системе контроля среды, основанной на ЭВМ.

14.4. Биохимические и физиологические реакции растений на антропогенные стрессоры

Динамическое *равновесие* и *стабильность* биологических систем тесно связаны с *биоиндикацией* на физиолого-биохимическом уровне. Экосистемы часто весьма стабильны. При изменении факторов среды и (или) под влиянием антропогенных стрессоров, т. е. при нагрузке, они могут переходить в другие стабильные состояния. Организмы тоже способны в определенных границах видоспецифично адаптироваться к измененным условиям существования. В меньшей степени это относится к подсистемам, например к таким органеллам, как хлоропласты и митохондрии, а также к биохимическим и физиологическим реакциям. Пределы их протекания относительно узки, поэтому они весьма чувствительны к нарушениям.

На уровнях организмов и экосистем воздействие стрессоров различимо только благодаря появлению внешних симптомов повреждений (например, некрозу, хлорозу), после того как перейдена граница адаптационной способности и системы становятся нестабильными. Например, за реакцией индикаторных растений можно проследить только по возникновению определенного повреждения. Однако, если необходимо своевременно предотвратить необратимое изменение состояния, то *раннее распознавание* нарушений часто является решающим. О чувствительности биохимических и физиологических параметров часто могут говорить очень незначительные концентрации стрессора.

На клеточном и субклеточном уровнях биоиндикации воздействие стрессоров чаще всего скрыто от наблюдателя, однако его можно измерить с помощью молекулярно-биологических, биохимических и физиологических методов.

В полевых условиях многофакторный характер реакции, в общем и целом не позволяет сделать выводов относительно количественных и качественных особенностей отдельно взятых факторов (например, SO₂) в смысле определения зависимости «эффект – доза». Удастся установить только суммарную нагрузку. После стресса большая часть биохимических реакций происходит в пространстве, ограниченном мембранами. Эти биомембраны обладают избирательной проницаемостью, обусловленной их строением и составом (в основном это двойные белково-(фосфо)-липидные слои, т. е. бимолекулярная липоидная пленка с белковыми слоями, отложенными с обеих ее сторон), ионной природой и другими химическими свойствами. Биомембраны осуществляют также направленный транспорт веществ внутри клетки.

Чтобы повлиять на физиолого-биохимические реакции, стрессор в активной форме должен проникнуть через эти структуры. Например, первым пунктом воздействия двуокиси серы на индикаторные растения являются устьица их листьев. При этом затрагивается и водный режим растений. Аналогично влияют свинец и поваренная соль.

SO₂ диффундирует, подобно CO₂, через межклеточные пространства растений и в большей или меньшей степени в зависимости от pH растворяется в межфибриллярной воде клеточной стенки, образуя ионы SO₃²⁻/HSO₃⁻, разрушающие наружную клеточную мембрану. Сильные повреждения мембраны проявляются в повышении проницаемости, по-видимому, в результате разрыва дисульфидных мостиков белкового слоя. Другими следствиями повреждения мембраны являются изменения pH и редокс-потенциала.

С другой стороны, в результате этого возможен целый ряд дополнительных вторичных реакций. Например, ферменты, связанные с мембраной, могут высвобождаться и через измененные внутриклеточные мембраны переходить в другие компартменты. Изменение свойств биомембран вызывает также сдвиги в содержании неорганических ионов и низкомолекулярных веществ, как правило, участвующих в регуляции деятельности ферментов. В результате эта регуляция может быть значительно нарушена.

В норме клетка предохранена от изменений pH. Поглощение -SO₂ и его превращение в сернистую кислоту создает значительную нагрузку на *буферную емкость* клетки (изменение pH при добавлении 1 мл 0,01 н. NaOH). Например, в гомогенатах еловой хвои, загрязненной SO₂, она заметно ниже, чем в контроле. А так как каталитические функции ферментов зависят от pH, снижение буферной емкости может привести к значительным нарушениям обмена веществ.

С мембранами хлоропластов (тилакоидными мембранами) связаны пигменты, обладающие фотосинтетической активностью и многочисленные другие ферменты. Эти чрезвычайно тонко структурированные мембраны могут быть легко разрушены действием SO₂.

Озон также повреждает клеточные ультраструктуры чувствительных растений, воздействуя сначала на хлоропласт и лишь затем на тонопласт и плазмалемму. Тяжелые металлы, такие, как кадмий, свинец, цинк и никель, в концентрациях, не влияющих на рост, усиливают такое повреждающее воздействие.

Изменение и разрушение хлоропластных мембран, по-видимому, является причиной снижения фотосинтетической активности, наблюдаемой при воздействии стрессоров.

Фотосинтез зеленых растений, т. е. преобразование энергии света в химическую энергию, является основой всей жизни на Земле. Он очень чувствительно реагирует на всякое изменение факторов внешней среды. Подавление фотосинтеза под влиянием стрессоров подтверждается рядом авторов. В качестве причины воздействия на фотосинтетическую активность указывают:

- неспецифические изменения целостности мембран,
- угнетение образования кислорода и электронного транспорта через фотосистему,
- разобщение фотофосфорилирования,
- специфические воздействия на различные ферменты.

Высокие концентрации SO₂ быстро подавляют чистую продуктивность

фотосинтеза у многих растений .

Изменения в окраске листьев, вероятно, являются наиболее характерным признаком влияния на растения кислых газодымовых выбросов . Такие изменения могут быть зарегистрированы, в частности, при помощи хроматографического и спектрофотометрического (экстракция ацетоном и измерение поглощения при 645 и 663 нм) методов. В качестве биоиндикаторного признака у лишайников и высших растений используют уменьшение содержания хлорофилла под влиянием стрессоров.

При превращении хлорофилла в феофитин спектральные характеристики изменяются. Изменение светопоглощения может использоваться для оценки нарушений после воздействия стрессора. Однако эти процессы не являются специфичными. Снижение общего содержания хлорофилла, различия в изменениях хлорофиллов а и в, а также увеличение содержания феофитина отмечались после воздействия многочисленных стрессоров, например SO_2 , HF или HCl (рис.).

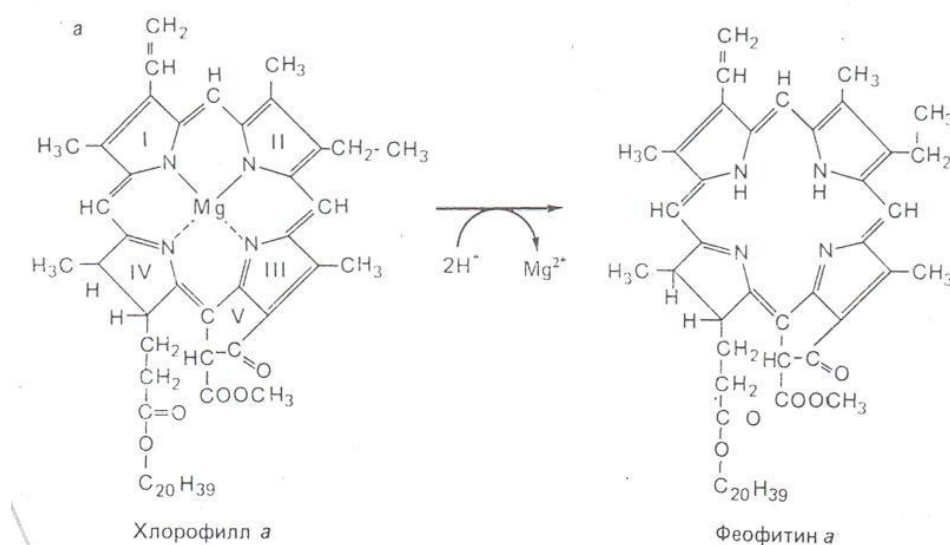


Рис. . Химическая структура хлорофилла а и феофитина а

При хроническом загрязнении внешней среды изменения хлорофилла не останавливаются на стадии феофитина, а могут через феофорбиды доходить до полного разрушения пиррольного кольца.

Таким образом, содержание хлорофилла (соответственно степень разрушения хлорофилла, а также содержание феофитина) остается возможным количественным показателем стрессовой нагрузки .

В листьях, подвергшихся воздействию фотоокислителей (фотохимического смога), в первую очередь изменяется соотношение каротиноидов . В хвое ели и листьях тиса, поврежденных газодымовыми выбросами (SO_2), содержание лютеина повысилось, а содержание 3-каротина понизилось по сравнению с контролем .

Действие стрессора может прямо или косвенно влиять на обеспечение питательными веществами. При воздействии на растения порошкообразных солей (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2) хлорид-ион, по-видимому, имеет наибольшее стрессорное значение, так как может значительно влиять на протекание физиологических процессов . Недостаток минеральных веществ у растений можно оценить по изменениям активности определенных ферментов.

Поглощаемые организмом вредные соединения могут быть либо преобразованы в ходе обмена веществ (например, озон), либо включены в общий метаболизм

(например, окислы азота, двуокись серы). Однако обычно большинство элементов вредных веществ пригодно для использования лишь в небольших количествах и присутствует в незагрязненных организмах лишь в виде следов (например, хлор, тяжелые металлы – свинец, цинк, кадмий и др.).

Их аккумуляция (аккумулятивная биоиндикация) выше естественного содержания может быть использована в качестве индикационного признака для определения уровня стрессовой нагрузки. Тест-организмом нередко является *Lolium multiflorum*. На основе обнаруженных в нем концентраций S, F, Pb, Zn и Cd может быть сделано заключение об угрозе для растительности в данном местообитании. Обнаружена хорошая корреляция между содержанием свинца в листьях тиса и интенсивностью движения в городах. Однако на это содержание заметно влияют и другие параметры среды, например плотность застройки и продувание ветром.

Уменьшение содержания растворимых белков после влияния какого-либо стрессора – общий индикаторный признак. Причиной является понижение их ресинтеза и (или) повышение распада до аминокислот. Воздействие ферментов, участвующих в превращениях аминокислот, существенно сказывается на их дальнейшем обмене.

В частности, в высших растениях наблюдается обусловленная стрессом аккумуляция свободного пролина, существует явная зависимость между его содержанием и водным балансом клеток. После воздействия двуокиси серы еще до обнаружения видимых симптомов повреждений количество свободного пролина увеличивается. Эта аминокислота вообще считается индикатором стресса, в особенности водного. Содержание пролина в тисе повышается в районах города с оживленным движением транспорта. В листьях каштанов его, аккумуляция, зависит от степени засоления местообитания. Причиной накопления пролина, возможно, является ускорение синтеза и (или) уменьшение распада под действием стресса.

Физиологические изменения, вызываемые действием стрессоров, отмечены и в метаболизме углеводов. Свободные олигосахариды, например сахароза и раффиноза, в местообитаниях с повышенным загрязнением показывают в листьях тиса и коре конского каштана отчетливое изменение концентрации по сравнению с контролем. При этом автомобильные выхлопы, а также содержание свинца и солей, по-видимому, влияют на метаболизм углеводов меньше, чем двуокись серы. Установлено, что с ростом загрязнения газодымовыми выбросами (лес < парк < городской центр) происходят значительные изменения состава жирных кислот омыляемых липидов.

Особенно заметно в листьях тиса снижается содержание миристиновой, пальмитиновой и лауриновой кислот, тогда как полиненасыщенные кислоты, в частности линолевая и линоленовая (рис. 5) значительно увеличивают свою концентрацию [4].

Жирные кислоты:

$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Линоливая кислота
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Линоленовая кислота

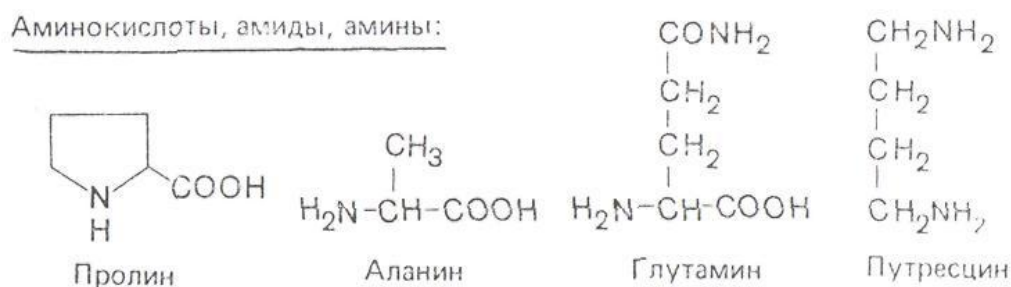


Рис. 5. Химическая структура некоторых продуктов обмена веществ, видоспецифично накапливающихся при воздействии стрессоров

Повышение процентного содержания линоленовой кислоты в качестве стрессового эффекта описано также в стареющих листьях табака и длительно затененных ветвях. Судя по этим данным, нельзя исключить и ускоряющее воздействие на процессы старения.

Опыты с обработкой SO_2 и автомобильными выхлопами указывают на то, что концентрация жирных кислот сильнее реагирует на выхлопы. Таким образом, комбинированная оценка содержания углеводов (реагирующих преимущественно на SO_2) и жирных кислот могла бы лечь в основу специфической биоиндикации.

Остается открытым вопрос, какие из рассмотренных индикационных признаков на физиолого-биохимическом уровне пригодны для ранней биоиндикации.

С учетом общих принципов биоиндикации любой эффект может быть использован в качестве индикаторного признака только тогда, когда соответствующий параметр системы быстро и чувствительно реагирует на изменение какого-либо параметра среды, соответствующего воздействию стрессора.

Физиологические, биохимические и особенно ферментные анализы, как правило, сложны и связаны с определенными измерительными устройствами. Далеко не в каждом случае наблюдаемая реакция может быть однозначно сопоставлена с оцениваемым антропогенным стрессором. Так, загрязнение воздуха четко обнаруживается лишь тогда, когда его воздействие явно превосходит влияние всех других факторов среды. С другой стороны, биоиндикация на первом уровне в целях ранней диагностики необходима повсюду в областях со степенью загрязнения от низкой до высокой, где наблюдать видимые повреждения еще невозможно.

14.5. Воздействие антропогенных стрессоров на морфологическую структуру растений

В истории биоиндикации морфологические изменения растений в ответ на антропогенные воздействия привлекли к себе внимание очень рано. В середине XIX в. были отмечены повреждения растений дымом вокруг бельгийских и английских содовых фабрик. Позднее сообщалось о характерных изменениях окраски растений во время военного применения ядовитых газов или их утечек. Сегодня во всех промышленно развитых странах известно о видимых поражениях растительности дымом или уличных деревьев солью. В полевых условиях, гидропонной культуре и камерах для окулировки было проведено множество исследований, посвященных связи

морфологических изменений с антропогенными стрессорами. И сейчас наиболее часто применяемые на практике методы биоиндикации учитывают морфологические изменения высших растений. Основой для этого являются в первую очередь незначительные затраты труда при наблюдении и оценке наблюдаемых явлений. Измерения чаще всего могут проводиться без специальных лабораторий и обученного персонала.

Для некоторых стрессовых факторов уже испытаны и иногда специально подобраны различные морфологические индикаторы, с помощью которых возможна кратко или долговременная индикация, как при низких, так и при высоких дозах воздействия. Современные исследования уделяют главное внимание стандартизации тест-материала и условий его применения.

В ряде стран морфологические индикаторы используются в национальной системе мониторинга. Морфологические методы индикации находят также применение при селекции устойчивых линий лесных, плодовых и декоративных деревьев.

Наиболее часто для биоиндикации используют видимые **макроскопические изменения**.

Например, изменение окраски листьев представляет собой в большинстве случаев неспецифическую реакцию на различные стрессоры. Среди можно отметить:

➤ **Хлороз** – бледная окраска листьев между жилками, например, у растений на отвалах, остающихся после добычи тяжелых металлов, или сосновой хвои при слабом воздействии различных вредных газов,

➤ **Покраснение** – накопление антоциана в виде пятен на листьях смородины и гортензии под действием SO_2 ;

➤ **Побурение или побронзовение** – у лиственных деревьев часто начальная стадия тяжелых некротических повреждений; у елей и сосен служит для дальнейшей разведки зон дымовых повреждений [184];

➤ **Некрозы** – отмирание ограниченных участков ткани – важные симптомы повреждений при индикации, иногда довольно специфичные. В литературе различают:

- *точечные и пятнистые некрозы* (отмирание тканей листовой пластинки в виде точек или пятен; например, очень характерны серебристые пятна после воздействия озона у табака сорта Bel W3, а также у *Urtica urtica* и *Begonia semperflorens* ,
- *межжилковые некрозы* (отмирание листовой пластинки между боковыми жилками первого порядка; часто при воздействии SO_2);
- *краевые некрозы* (характерные, четко отграниченные формы у лип, поврежденных поваренной солью, применяемой для таяния льда;
- *сочетание межжилковых и краевых некрозов* приводит к появлению узора типа «рыбьего скелета»;
- *верхушечные некрозы* (в особенности у однодольных и хвойных; характерны темно-бурые, резко отграниченные некрозы кончиков хвои у пихты и сосны после воздействия SO_2 или белые, обесцвеченные некрозы верхушек листьев у *Gladiolus «Snow Princess»* под влиянием HF;
- *некрозы околоплодника* (например, после воздействия SO_2 на семечковые плоды, особенно вблизи цветков.

Кроме того, для биоиндикации используют другие *макроскопические изменения*

:

- *опадение листьев* – (дефолиация) в большинстве случаев наблюдается после появления некрозов или хлорозов. Примерами служат уменьшение

продолжительности жизни хвои, ее осыпание у ели, сбрасывание двухиглых укороченных побегов у сосны, преждевременное опадение листвы у лип и конских каштанов под влиянием соли, применяемой для таяния льда. Дефолиация приводит к сокращению ассимилирующей площади, а следовательно, к сокращению прироста, а иногда к растрескиванию почек и преждевременному (пролептическому) образованию новых побегов. У хвойных пород легко можно определить возраст хвои, так как прирост побегов у них идет строго ритмично. Чаще всего при этом оценивается процент сохранившейся хвои на участке побега, соответствующем данному годичному приросту.

- *Изменения размеров органов* по большей части неспецифичны. Так, в окрестностях предприятий, производящих удобрения, у сосен хвоя удлиняется под действием нитрата и укорачивается под действием SO_2 (хорошая корреляция отсутствует, так как при слабом загрязнении атмосферы вначале наблюдается даже удлинение, у ягодных кустарников дым вызывает уменьшение размеров листьев. С другой стороны, ненормально крупные листья пней поросли на отмирающих деревьях наблюдаются, например, при повреждении HCl .
- *Изменения формы, количества и положения органов.* Аномальная конфигурация листьев отмечена, например, у лиственных деревьев после радиоактивного облучения в результате локальных некрозов возникает уродливая деформация, перетягивание, вздувание или искривление листовой пластинки, фасциация или искривление побегов, сращение или расщепление отдельных органов, увеличение или уменьшение в числе частей цветка, смена пола и другие аномалии развития под действием гормональных гербицидов или радиоактивного облучения, изменение морфологии лишайников в результате снижения способности видов-симбионтов к образованию таллома в атмосфере больших городов.
- *Изменение направления, формы роста и ветвления.* Примерами описанными в литературе являются изменение направления роста корней у одуванчика при изменении уровня грунтовых вод, образование стелящихся побегов и ветвление у *Dicranum polijsetum*, кустовидная и подушечная форма роста деревьев, например лип, при устойчивом сильном загрязнении атмосферы HCl или SO_2 , переживание кроны и изменение бонитета ствола у поврежденных дымом хвойных пород. Ползучие главные оси побегов, тесно расположенные узкие листья, малая высота растений и хорошая запасаящая способность, как правило, наблюдаются у растений на территориях с высокой концентрацией газообразных выбросов.
- *Изменения прироста* по большей части неспецифичны, однако широко применяются для индикации, так как являются более чувствительным параметром, чем некрозы и позволяют непосредственно определять снижение продуктивности используемых человеком растений. Измеряют главным образом изменение радиального прироста древесных стволов, прироста в длину побегов и листьев, длины корней (например, у клоповника), а также диаметра таллома лишайников.
- *Изменения плодovitости* при действии антропогенных стрессоров наблюдали у многих растений. В качестве примера можно назвать уменьшение образования плодовых у лишайников и грибов,

продуктивности у черники и елей в загрязненной газообразными выбросами атмосфере.

Кроме макроскопических изменений для биоиндикации используют *микроскопические изменения*, к ним относятся:

- *Изменение размеров клетки.* Примерами служат увеличение клеток смоляных ходов у сосен, поврежденных SO_2 , уменьшение клеток эпидермиса листьев как реакция на газообразное загрязнение,
- *Изменения субклеточных структур,* расширение цистерн эндоплазматического ретикулума, отложение под действием Zn^{2+} сферического электроноплотного вещества в различных мембранах фасоли в гидропонной культуре, набухание тилакоидов у различных растений, обработанных SO_2 . Образование кристаллических включений в хлоропластах фасоли при воздействии газообразного хлора [168], грануляция плазмы и разрушение хлоропластов у деревьев, поврежденных SO_2 и Cl^- ,
- *Плазмолиз.* Отслаивание плазмы от клеточной стенки как следствие действия кислоты и SO_2 ,
- *Изменения степени ксероморфизма листьев* как следствие газообразных выбросов и форма приспособления к ним выражаются в увеличении числа устьиц, толщины кутикулы, густоты опушения, толщины листа и степени суккулентности (отношения сырой вес; сухой вес),
- *Изменение структуры древесины:* например, снижение качества сосновой древесины в результате незначительного ее образования летом и выпадения годичных колец при воздействии SO_2 . Исчезновение годичных колец у мягкодревесинных пород под влиянием поваренной соли, применяемой для таяния льда.

Развитие листовых некрозов, очевидно, зависит от характера загрязнения атмосферы. Газообразный HCl действует (вероятно, по причине высокой растворимости в воде), следующим образом – сначала нарушается полупроницаемость клеток эпидермиса, происходит плазмолиз, одновременно наблюдаются зернистые отложения в вакуолях. Нижний эпидермис при этом более чувствителен, чем верхний, однако особенно чувствительны железистые волоски. Позднее в палисадных клетках появляется много крупных вакуолей, а в хлоропластах – кристаллические включения.

При повреждении ткани листьев газообразными выбросами в качестве входных ворот обычно указывают устьица, а мезофильные клетки вокруг межклеточных воздухоносных полостей считаются первичными участками воздействия. Между тем обнаружено, что при хроническом поражении SO_2 берез, лип, дубов и буков первым симптомом всегда служит темная грануляция пучкового влагалища. Лишь при более сильном повреждении сначала становились зернистыми и подвергались плазмолизу клетки нижнего эпидермиса и мезофилла, а последним отмирал верхний эпидермис. Однако и здесь эндогенные и экзогенные факторы оказывают сильное модифицирующее воздействие. У сосновой хвои, росшей на солнечной стороне, SO_2 повреждает только зоны вокруг межклеточных воздухоносных полостей, а у хвои из затененной части кроны – почти всю хлоренхиму вплоть до узкой краевой зоны на периферии. Молодые листья, кутикула которых еще не сформировалась, легче, чем старые, повреждаются непосредственно через кожицу. Поэтому некрозы у листьев различного возраста имеют различный характер.

Между устойчивостью к газодымовым выбросам и анатомией листьев существует некоторая взаимосвязь, в особенности, если сравнение проводится в близкородственной группе растений. Велика устойчивость листьев с изофациальным строением, малым межклеточным объемом, большим отношением палисадной паренхимы к губчатой, толстой кутикулой, погруженными устьицами и дополнительным покровом эпидермиса (опушением); низка – у тонких листьев с устьицами на обеих сторонах и рыхлым мезофиллом.

14.6. Биоиндикация как средство контроля состояния окружающей среды

Чистый воздух как существенная предпосылка для нормального развития организмов содержит ряд веществ, которые повсюду на Земле представлены в равных объемных долях :

- Азот (N_2) – 78,08 %,
- Кислород (O_2) – 20,95%,
- Аргон (Ar) – 0,93%,
- Углекислый газ (CO_2) – 0,03%,
- Неон (Ne) – $18,2 \cdot 10^{-4}$,
- Гелий (He) – $5,2 \cdot 10^{-4}$,
- Криптон (Kr) – $1,1 \cdot 10^{-4}$,
- Ксенон (Xe) – $0,1 \cdot 10^{-4}$,
- Водород (H_2) – 0,01.

Кроме того, следы угарного газа (CO), озона (O_3), метана (CH_4), оксидов азота (NO_x) и аммиака (NH_3).

Присутствующие только в виде следов газы либо попадают из более высоких слоев атмосферы, либо являются результатом разложения и гниения отмерших организмов. Они могут возникать и вследствие погодных влияний. Поэтому изменения состава воздуха, отмечаемые на больших пространствах, не всегда вызваны действиями человека, они могут быть результатом биологических процессов в местах, не затронутых антропогенным влиянием. Так, например, над огромными площадями, занятыми хвойными лесами, происходит скопление терпенов и изопренов, над болотами скапливается CH_4 над очагами гнилостных процессов – H_2S и NH_3 , над морями и океанами – амины, CO, галогениды, N_2O , NH_3 , сульфаты и нитраты. Вулканы выбрасывают весьма существенные количества SO_2 , H_2 , CO и H_2S .

То же можно сказать о пыли и аэрозолях, состоящих из спор, пыльцы, органических и минеральных частиц, поднимаемых пыльными или песчаными бурями, а также поставляемых выбросами вулканического происхождения. Наконец, следует напомнить о саже и пепле от крупных пожаров. Все это присутствует в чистом воздухе в виде его непостоянных составляющих, появившихся без вмешательства человека.

Так что провести четкую грань между антропогенным и природным загрязнением воздуха не представляется возможным, и, тем не менее, остается непреложным тот факт, что загрязнение атмосферы веществами, которые до индустриализации во все отсутствовали или имелись лишь в весьма незначительных количествах, за последние десятилетия приняло угрожающие размеры.

Антропогенное загрязнение воздуха отмечалось еще в средние века: уже тогда использование в качестве топлива каменного угля приводило к образованию вредных газов. В результате расширения и концентрации промышленных объектов и жилищных комплексов, а также с развитием транспорта во всех современных промышленно

развитых странах загрязнение воздуха достигло таких масштабов, которые требуют принятия мер противодействия загрязнению и контроля за состоянием воздуха.

Согласно определению Всемирной Организации Здравоохранения, загрязнение воздуха имеет место, когда одно или несколько загрязняющих воздух веществ или их смеси содержатся в воздухе в таких количествах и так длительно, что создают опасность для человека, животных, растений или имущества, способствуют нанесению ущерба тем или иным образом отрицательно сказываются на самочувствии человека и состоянии его имущества. Для некоторых из этих веществ установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) кратковременного (до 30 мин) и долговременного загрязнения (24 ч). Набор следовых веществ, загрязняющих воздух, очень широк. Следует назвать в первую очередь наиболее токсичные, к ним относятся:

- газообразные неорганические вещества, такие, как SO_2 , H_2S , NO_2 , Cl_2 , CO , SiF_4 ;
- минеральные кислоты, такие, как HCl , HF , H_2SO_4 , HNO_3 ;
- радионуклиды, например стронций-90, цезий-137, йод-129, плутоний-240, радий-226, америций-241;
- простые органические вещества: альдегиды, эфиры, углеводороды, кетоны, фенолы, крезолы и т. д.;
- вещества с сильным запахом, например меркаптаны и амины;
- полициклические углеводороды, например 3,4-бензпирен и 1,12-бензперилен, и др.;
- пылевидные вещества и смеси веществ: сажа, летучая зола, угольная пыль, цементная пыль, токсичная пыль, обогащенная оксидами металлов, свинцом, мышьяком.

Распространение загрязняющих воздух веществ в атмосфере зависит от очень многих факторов, в особенности от метеоусловий. Между концентрацией вредных веществ на поверхности почвы или в организмах и эмиссией, под которой подразумевается концентрация поступивших в атмосферу вредных веществ за единицу времени, существуют очень сложные взаимоотношения. Они лишь в незначительной части подвластны воздействиям со стороны человека и трудно поддаются количественному определению. Поэтому жизненное пространство организмов зависит от этих сложных условий загрязнения воздуха, очень различающегося по виду и количеству даже при постоянной эмиссии. Биоиндикация вредных веществ в воздухе основана, естественно, только на их проникновении в живые организмы.

Если слишком высокое или весьма незначительное наличие обычных содержащихся в «чистом» воздухе составных частей приводит к замедлению или даже остановке определенных процессов обмена веществ и тем самым к задержке роста (например, слишком высокое содержание CO_2 или O_2), то наличие в воздухе чужеродных веществ, токсически действующих уже в малых дозах, быстро вызывает:

- биохимические и физиологические нарушения,
- повреждение цитоплазмы,
- отмирание клеток, органов, иногда всего организма.

От загрязнения воздуха страдают животные, растения и сами люди. Следует иметь в виду, что человек и животное адаптированы к содержанию в воздухе примерно 21% (по объему) кислорода, в то время как растения с их ассимиляционным аппаратом приспособлены к значительно более низким концентрациям в атмосфере углекислого газа – порядка 0,03 (по объему), и потому более чувствительны к концентрациям вредных веществ в воздухе.

По этой причине растения особенно пригодны для обнаружения начальных вредных изменений в составе воздуха биосферы и им придается особое значение как биоиндикаторам атмосферного загрязнения.

В настоящее время успешно развивается сотрудничество по линии Международных союзов экологов, охраны природы и особенно биологических наук (МСБН). На XXI Общей ассамблее МСБН в Оттаве (1982) была выработана программа «Биоиндикаторы», Основные принципы программы: стандартизация методов исследования; решение региональных и национальных проблем; создание школ специалистов по биоиндикации, расширение биоиндикаторных исследований в мониторинге окружающей среды. Программа МСБН «Биоиндикаторы» подразделяет биологические системы, применение которых возможно для выявления вредных антропогенных веществ на шесть подгрупп в соответствии с шестью дисциплинами.

Это микробиология, зоология, ботаника, клеточная биология и генетика, сравнительная физиология, гидробиология. Так в подгруппе ботаника для обнаружения специфических загрязнений воздушного бассейна и для слежения за динамикой этого загрязнения возможно применение чувствительных видов растений. К их числу относятся низшие растения, лишайники, грибы, многие высшие растения. Толерантные или индикаторные виды, а также их сообщества используются для характеристики почвенных условий, определения концентрации тяжелых металлов.

Возможность получить интегральную характеристику качества среды, находящейся под воздействием всего многообразия физических, химических и других факторов, дают только биологические методы, так как именно живые организмы несут наибольшее количество информации об окружающей их среде обитания. Теоретические основы универсальной системы интегральной оценки состояния экосистем разработаны и апробированы ведущими учеными-биологами России и Мира. В системы положен новый взгляд на оценку качества среды, разрабатываем под руководством д-ра биол. наук, чл.-корр. РАН В.М. Захарова в Институте биологии развития РАН и Международным фондом «Биотест» и рекомендуемый Центром экологической политики России (Председатель чл.-корр. РАН А.В. Яблоков). Полученные результаты применения этого подхода при анализе территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению после Чернобыльской катастрофы заставили пересмотреть проблему контроля среды и выявили закономерности, не замеченные при использовании других методов.

С целью развития и практического использования методологии интегральной биологической оценки качества среды с 1989 г. работала Международная программа «Биотест», продолжателем и основным разработчиком этой программы в России стал Центр экологической политики России, в Москве. Официально начало работы Центра отсчитывается с 1993 г., под руководством президента центра Яблокова А.В. и вице-президента и директора Центра Захарова В.М. Примерно в это же время и выходит совместный труд об интегральной оценке здоровья среды, а именно о методе "Биотест".

Суть метода заключается в определении и анализе ответной реакции "здоровья" растений и мелких животных, постоянно проживающих на исследуемой местности, на условия существования; т.е. местообитание живых организмов (в том числе и людей) оценивается с точки зрения благоприятности для их жизни и развития. Определить таким же способом воздействие неблагоприятных факторов какой-либо местности непосредственно на человека невозможно, так как жизнь человека не ограничивается рамками одного района.

Особенностью этой методологии является то, что главным объектом

биомониторинга оказывается состояние живого организма, надежное определение которого может быть получено лишь на популяционном уровне.

Критерием оценки воздействия неблагоприятных факторов среды служит степень отклонения билатерально-симметричных живых организмов от показателей, характерных для здоровых особей. При анализе комплекса морфологических признаков лучше использовать интегральные показатели стабильности развития.

Интегральным показателем стабильности развития для комплекса меристических признаков является средняя частота асимметричного проявления на признак. Этот показатель рассчитывается как средняя арифметическая числа асимметричных признаков у каждой особи, отнесенная к числу используемых признаков.

Стабильность развития как способность организма к развитию без нарушений и ошибок является чувствительным индикатором состояния растительности. Наиболее простым и доступным для широкого использования способом оценки стабильности развития является определение величины флуктуирующей асимметрии морфологических признаков. Пожалуй, из всего многообразия известных методов биоиндикационных исследований (оценка биоразнообразия, бактериологические, биохимические, биоэнергетические методы и пр.), метод анализа флуктуирующей асимметрии наиболее полно отвечает необходимым критериям при используемом морфогенетическом подходе оценивается стабильность развития (гомеостаз). Снижение его эффективности приводит к появлению отклонений от нормального строения различных морфологических признаков, обусловленных нарушениями развития.

Состояние природных популяций билатерально симметричных организмов оценивается на основе анализа флуктуирующей асимметрии, характеризующей мелкие ненаправленные нарушения гомеостаза развития и являющейся ответом организма на состояние окружающей среды. Симметрия, как вид согласованности отдельных частей, который объединяет их в единое целое, является одним из наиболее общих и широких понятий.

Из литературы известно, что возникновение билатеральной симметрии (зеркальной, симметрии левого и правого) является важным эволюционным достижением, раскрывающим большие возможности для дифференцировки организма. Поскольку в природе строение живых тел не бывает совершенным, естественно, встречаются и самые различные, как направленные, так и случайные, отклонения от билатеральной симметрии (асимметрия).

Флуктуирующая асимметрия является следствием несовершенства онтогенетических процессов и неспособности организмов развиваться по точно определенным путям. По феноменологии она представляет собой небольшие ненаправленные отклонения живых организмов от строгой билатеральной симметрии. При этом различия между сторонами не являются строго генетически детерминированными и, следовательно, зависят, в основном, от внешних условий.

Флуктуирующая асимметрия (в отличие от др. типов асимметрии) не имеет самостоятельного адаптивного значения, а является выражением незначительных ненаправленных нарушений симметрии, которые находятся в пределах определенного люфта, допускаемого естественным отбором, и не оказывают ощутимого влияния на жизнеспособность. Такое положение является вполне естественным, т.к. значительные различия между сторонами могут иметь место в природе лишь в том случае, если они носят приспособительный характер.

Явлениями флуктуирующей асимметрии охвачены практически все билатеральные структуры у самых разных видов живых организмов. Все исследованные

признаки обнаружили флуктуирующую асимметрию . Даже для тех структур, которые при общем поверхностном анализе могут быть оценены как полностью симметричные, при более тщательном рассмотрении выявляется та или иная степень выраженности флуктуирующей асимметрии.

Оценка последствий антропогенного воздействия предполагает сравнение модельных площадок, выделенных на территориях с разной степенью антропогенного воздействия, либо путем сравнения выборок с одной и той же площадки, собранных в разное время для выявления возможного ухудшения или улучшения состояния организма.

Как показывает практика проведения таких оценок, при этом возможно выявление последствий различных видов антропогенных воздействий, а также комплексного воздействия .

Крайне важной особенностью подхода является то, что оценки, получаемые для различных видов, оказываются сходными, что открывает возможность для характеристики здоровья экосистемы по состоянию составляющих ее видов .

Преимуществами подхода, основанного на оценке состояния природных популяций по стабильности развития, являются следующие: возможность ответа не только на вопрос о том, что происходит, но и как это происходит, высокая чувствительность подхода и возможность выявления изменений в первом же поколении, как при ухудшении, так и при улучшении условий.

О значимости получаемых при этом оценок свидетельствуют следующие данные:

- проведенная, в ряде случаев, оценка состояния организма, с использованием разных подходов к оценке гомеостаза развития, включая иммунологические, цитогенетические, биохимические и физиологические методы, показала, что они изменяются согласованно с оценкой стабильности развития . Это говорит о том, что при используемом подходе дается не только характеристика морфогенетических процессов, но и общего состояния организма;
- оценки стабильности развития оказались скоррелированными и с собственно популяционным показателем – успехом размножения . В целом это свидетельствует о значимости такой оценки для характеристики состояния популяций, при большей чувствительности, по сравнению с другими подходами.
- Принципиальным преимуществом подхода является возможность выявления изменений состояния организма при разных неблагоприятных воздействиях, когда ни по показателям биоразнообразия (на уровне сообществ), ни по популяционным показателям изменения обычно не наблюдаются .
- В литературе подчеркивается , что крайне важной особенностью подхода является то, что оценки, получаемые для различных видов, оказываются сходными, что открывает возможность для характеристики здоровья экосистемы по состоянию составляющих ее видов.

Преимущества живых индикаторов состоят в том, что они суммируют все биологически важные данные об окружающей среде, отражают ее состояние в целом, устраняют трудную задачу применения дорогостоящих и водоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров; вскрывают скорость происходящих в природной среде изменений, указывают пути и места скопления в экологических системах различного рода загрязнений; позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы и человека; дают возможность контролировать действие многих синтезируемых человеком соединений; помогают

нормировать допустимую нагрузку на экосистемы .

Вопросы для самоконтроля

- 1). Основные задачи биоиндикационных методов изучения экосистем.
- 2). Что представляют собой биоиндикаторы ?
- 3). Охарактеризуйте типы биоиндикационных реакций организмов.
- 4). Общая характеристика антропогенных факторов, вызывающие стресс у биологических систем.
- 5). В чем состоят биохимические и физиологические реакции растений на антропогенные стрессоры?
- 6). Докажите, что биоиндикация эффективное средство контроля состояния окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студ. Высших учеб. Заведений /О.П. Мелехова, Е.И.Сарапульцева, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П.Мелеховой и Е.И.Сарапульцевой. – М.:Издательский центр «Академия»,2010.-288с. – ISBN 978-5-7695-7033-9.
- 2.Методы полевых экологических исследований: учеб. Пособие /авт. Коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Березина; редкол.: А.Б.Ручин (отв. ред.).- Саранск:Изд-во Мордов. ун-та, 2014.-412 с.- ISBN 9678-5-7103-2874-3.
- 3.**Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. ISBN-5-8114-0350-X

Дополнительная

1. **Власов, М.Н.** Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор / М.Н.Власов.-М.:Наука,1999.- 240 с.- ISBN5-02-004461-X
2. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.

Лекция 15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ - ОСНОВНОЕ УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ

15.1. Понятийный аппарат математического моделирования в экологии

Математические методы позволяют создавать математические модели различных процессов и явлений. **Суть математического моделирования** заключается в абстрагированном и упрощенном отображении действительности логико-математическими формулами, передающими в концентрированном виде сведения о структуре, взаимосвязях и динамике исследуемых явлений.

Эти модели очищены от ненужных деталей и лишних подробностей ради ясности характеристик важнейших свойств и закономерностей.

Абстрактность математической модели проявляется даже в характеристике конкретных свойств: в любой формуле указываются лишь величины тех или иных показателей, но не раскрывается их содержание.

Важная особенность математических методов, состоит в их опосредствованном использовании для изучения действительности. Они применяются лишь в виде моделей, то есть в определенных формализованных абстракциях.

Математические модели способны хорошо отражать структуру, взаимосвязи и динамику наблюдаемых явлений, но надо неустанно следить за их соответствием свойствам моделируемой действительности.

Другое условие повышения достоверности результатов моделирования состоит в совершенствовании научных знаний об экологических закономерностях.

Опора на более достоверные, точные и полные знания, а также их всесторонний учет гарантирует более высокое качество моделирования.

Математические модели могут, в свою очередь, оказывать серьезное воздействие на теоретические представления. В «основание» моделей можно закладывать еще не доказанные наукой представления; тогда результаты моделирования позволят судить о научной достоверности теоретических предпосылок и гипотез, об обоснованности интуитивных представлений. Это свойство моделей может использоваться

в целях предсказания новых экологических закономерностей и прогнозирования развития явлений и процессов.

Наконец, для улучшения результатов моделирования очень важна постоянная корректировка моделей посредством учета и контроля промежуточных данных.

15.2. Реальные и знаковые модели в моделировании экосистем

В зависимости от особенностей оригинала и задач экологического исследования выделяются:

- **реальные** (отражают самые существенные черты оригинала) модели,
- **знаковые** (представляют собой условное отображение оригинала с помощью математических выражений или подробного описания) модели.
- В свою очередь знаковые модели могут быть двух видов:
- **концептуальные** (характеризуются подробным описанием системы —
- научный текст, схема, таблицы, графики и т.д.) ,
- **математические.**

- Математические модели подразделяются на
- **аналитические** (оператор известен в аналитической форме)
- **численные** (имитационные).

Также модели могут быть:

- дискретными или непрерывными,
- детерминированными или стохастическими,
- точечными или пространственными
- статическими или динамическими.

Первыми математическими моделями простейших экологических систем хищник-жертва и паразит-хозяин были теоретические разработки В. Вольтеры, сделанные в 1931 г. Они послужили основой для построения более сложных моделей процессов пищевых отношений популяций в биоценозах.

С появлением компьютеров появились возможности моделирования ещё более сложных саморегулирующихся систем с обратной связью — популяций и биоценозов.

В настоящее время в биоэкологии на основе математического моделирования изучаются микробные популяции, популяции одноклеточных водорослей, выращиваемых в культиваторах, исследуются явления внутривидовой конкуренции и различные формы межвидовых взаимоотношений.

Важное место занимают вопросы математического моделирования в экологических исследованиях, направленных на использование ресурсов природы так, чтобы в ней осуществлялось естественное их возобновление. Из различных разделов современной математики в экологии наиболее широко используется математическая статистика:

- вычисление средних квадратических отклонений,
- дисперсии,
- коэффициентов вариации,
- оценка согласия распределений с помощью критериев Пирсона, А.Н.

Колмогорова,

- расчеты прямолинейной и нелинейной корреляции,
- корреляционных отношений,
- Различных видов регрессий,
- анализ временных рядов,
- дисперсионный и дискриминантный анализ и др.

Но особенно широкое распространение нашли известные алгоритмы математической статистики — факторный анализ и метод главных компонент.

Не менее популярны статистические алгоритмы классификации объектов на основе комплексов характеризующих их показателей.

Количество алгоритмов классификаций и их разновидностей очень велико, но все они построены на способах членения исходного множества изучаемых объектов на непересекающиеся подмножества:

- метод потенциальных функций,
- метод гиперплоскостей,
- метод гиперсфер и др.

Глубоко вопросы математического моделирования экосистем будут изучены аспирантами в специальном курсе.

Вопросы для самоконтроля

- 1) .Суть метода математического моделирования.

|

- 2). В чем состоит основное условие повышения достоверности результатов математического моделирования?
- 3). Основные отличия реальных и знаковых моделей.
- 4). Какие приемы и вычисления математической статистики широко используются в экологии?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Методы полевых экологических исследований: учеб. Пособие /авт. Коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Березина; редкол.: А.Б.Ручин (отв. ред.).- Саранск:Изд-во Мордов. ун-та, 2014.-412 с.- ISBN 9678-5-7103-2874-3.
2. Промышленная экология. Основы инженерных расчетов: учебное пособие / С.В.Фридланд, Л.В. Ряписова, Н.Р. Стрельцова.-М.:КолосС, 2008.-176 с.- ISBN 978-5-9532-0546-7
3. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,-2005.-288с. - ISBN-5-8114-0350-X.

Дополнительная

1. **Васильева, М.И.** Правовые проблемы организации управления в сфере охраны окружающей среды. Пособие по региональной экологической политике / М.И.Васильева .- М.:Акрополь, ЦЭПР, 2004.- 254 С.
2. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кочуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0.
3. **Макаров, О.А.** Экономическая оценка и сертификация почв и земель: учебное пособие для вузов / О.А.Макаров, И.З.Каманина.-М.:МАКС Пресс.-2008.- 240 с.- ISBN 978-5-9963-1141-5.

Библиографический список

1. **Березина Н.А.**, Экология растений / Н.А.Березина, Н.Б. Афанасьева- М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 400с. ISBN 978-5-7695-5161-11. Лебедь, Л.В. Экологическая химия: учебное пособие / Л.В. Лебедь., Т.А. Дружкина., Н.Н. Гусакова / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009.- 140 с.(8,3 п.л.) ISBN 978-5-7011-0615-2.
2. **Васильева, М.И.** Правовые проблемы организации управления в сфере охраны окружающей среды. Пособие по региональной экологической политике / М.И.Васильева .-М.:Акрополь, ЦЭПР, 2004.- 254 С.
3. **Другов, Ю.С.** Экологическая аналитическая химия / Ю.С.Другов - М.: Изд-во ООО «Анатолия», 2000.- 432 с. ISBN 5-88851-034-3.
4. **Дружкина,Т.А.** Скрининговая оценка экологического состояния городской среды по древесным культурам / Т.А.Дружкина , Л.В.Лебедь, Н.Н.Гусакова / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».- Саратов,2009 – 136 с, ISBN 978-5-7011-0599-53.
5. **Исидоров, В.А.** Экологическая химия /В.А. Исидоров -С-Пб: Химиздат, 2001.- 304 с. - ISBN 5-7245-1068-5
6. **Кочуров, Б.И.** Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пособие /Б.И.Кучуров.- Москва-Смоленск:Маджента, 2003.-384 с.- ISBN 5-98156-001-0
7. **Краснова, Т.А.** Экспертиза питьевой воды. Качество и безопасность: учебное пособие/ Т.А.Краснова, В.П.Юстратов, В.М. Поздняковский.- М.:ДеЛи принт, 2011.- 280 с.- ISBN 978-5-94343-227-9.
8. **Макаров, О.А.** Экономическая оценка и сертификация почв и земель: учебное пособие для вузов / О.А.Макаров, И.З.Каманина.-М.:МАКС Пресс.-2008.- 240 с.- ISBN 978-5-9963-1141-5.
9. Методы полевых экологических исследований: учеб. Пособие /авт. Коллектив: О.Н.Артаев, Д.И.Башмаков, О.В.Березина; редкол.: А.Б.Ручин (отв. ред.).- Саранск:Изд-во Мордов. ун-та, 2014.-412 с.- ISBN 9678-5-7103-2874-3.
10. Промышленная экология .Основы инженерных расчетов: учебное пособие / С.В.Фридланд, Л.В. Ряписова, Н.Р. Стрельцова.-М.:КолосС, 2008.-176 с.- ISBN 978-5-9532-0546-7
11. **Пронина, Н.Б.** Экологические стрессы /. Н.Б Пронина -М.:Изд-во МСХА, 2006, 312 с.
12. **Пчелинцева, Н.М.** Новые фитоиндикаторы в урбоэкомониторинге /Н.М.Пчелинцева, Н.Н.Гусакова- Саратов : ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009.- 132 с. ISBN 087-5-7011-0666-4.
13. **Ревич, Б.А.** Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека.Пособие по региональной экологической политике / Б,А.Ревич, С.Л.Авалиани, Г.И.Тихонова –М.: Акрополь, ЦЭПР ,2004.- 268 С.
14. **Розанов, С.И.** Общая экология : учебник для вузов / С.И.Розанов.-СПб.:Лань,- 2005.-288с. -ISBN-5-8114-0350-X.

Содержание

Введение	3
Лекция 1. Экология как методологическая и теоретическая база природопользования	5
1.1. Понятие о методах науки.....	5
1.2. Методологические подходы в экологических исследованиях.....	5
1.3. Индикатор эффективности экологической политики – здоровье среды.....	7
Вопросы для самоконтроля.....	8
Список литературы.....	8
Лекция 2. Методы биоэкологических исследований	9
2.1. Полевые методы исследования в экологии.....	9
2.2. Лабораторные и экспериментальные методы исследований в экологии.....	12
2.3. Актуальность системного анализа в экологических исследованиях.....	13
Вопросы для самоконтроля.....	14
Список литературы.....	14
Лекция 3. Специфические методы изучения растительных ассоциаций	15
3.1. Основопологающее понятие «Растительная ассоциация».....	15
3.2. Закладка и описание пробных площадей и учетных площадок.....	15
3.3. Характеристика местообитания сообщества.....	17
3.4. Хозяйственная оценка ассоциации.....	17
Вопросы для самоконтроля.....	19
Список литературы.....	19
Лекция 4. Экологические методы изучения животных. Отличия количественного учета растений и животных	20
4.1. Общие представления о методологии экологического изучения животных.....	20
4.2. Основные показатели численности организмов.....	21
4.3. Общность параметров количественного учета растений и животных.....	23
Вопросы для самоконтроля.....	23
Список литературы.....	23
Лекция 5. Предметная область геоэкологических исследований: виды природных ресурсов и функциональное использование территории	24
5.1. Объекты геоэкологических исследований.....	24
5.2. Предметная область геоэкологических исследований.....	24
5.3. Основные методы геоэкологических исследований.....	25
Вопросы для самоконтроля.....	25
Список литературы.....	25
Лекция 6. Физико-химические основы методов экологических исследований. Спектральные и оптические методы анализа	26
6.1. Общая характеристика спектральных и оптических методов анализа.....	26
6.2. Атомно-эмиссионная спектроскопия, фотометрия пламени.....	26
6.3. Фотоэлектроколориметрия-основная база исследований объектов окружающей среды.....	28
6.4. Турбидиметрический метод анализа экологических объектов.....	31
Вопросы для самоконтроля.....	32
Список литературы.....	33
Лекция 7. Физико-химические основы методов экологических исследований: электрохимические и хроматографические методы анализа объектов окружающей среды	34

7.1. Электрохимические методы исследований в экологии.....	34
7.2. Потенциометрия –экспрессный метод анализа объектов окружающей среды.....	34
7.3. Вольтамперометрический и амперометрический методы анализа в экологии.....	39
7.4. Прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование-экспрессные методы определения минерализации природных вод и засоленности почв.....	43
7.5. Обзор хроматографических методов анализа объектов окружающей среды.....	45
7.6. Газовая хроматография в анализе объектов окружающей среды.....	46
7.7. Применение хроматографии для определения микроколичеств пестицидов.....	49
7.8. Правила отбора проб растений, сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, кормов, почвы, воды для определения микроколичеств пестицидов.....	50
7.9. Ионнообменная хроматография в анализе ООС.....	57
7.10. Хроматография на бумаге.....	60
7.11. Хроматографический процесс и его характеристики в тонкослойной хроматографии.....	62
Вопросы для самоконтроля.....	67
Список литературы	67
Лекция 8. Геохимические методы –основная база экологических методов изучения биогеоценозов.....	68
8.1. Цель и задачи геохимических методов исследования экосистем.....	68
8.2. Основные группы геохимических методов исследования.....	69
8.3. Этапы проведения геохимических методов исследования экосистем.....	70
8.4. Методы обработки результатов геохимических исследований.....	72
8.5. Понятие «геохимическая ассоциация». Картирование ассоциаций.....	73
Вопросы для самоконтроля.....	74
Список литературы	74
Лекция 9. Основные задачи геофизических методов исследования окружающей среды	75
9.1. Общие представления о геофизических методах изучения экосистем.....	75
9.2. Основные задачи геофизических исследований экосистем.....	77
Вопросы для самоконтроля.....	78
Список литературы	78
Лекция 10. Цели, задачи, методы гидрогеологических наблюдений за окружающей средой	80
10.1. Гидрогеологическая съемка с эколого-геологическими исследованиями - комплексный метод получения информации о состоянии экосистем.....	80
10.2. Типы гидрогеологических карт.....	81
10.3. Метод бурения гидрогеологических скважин.....	82
10.4. Опытнo-филтpационные методы исследования.....	82
10.5. Стационарные гидрогеологические наблюдения.....	85
10.6. Лабораторные методы в гидрогеологических исследованиях.....	86
Вопросы для самоконтроля.....	87
Список литературы	87
Лекция 11. Комплекс инженерно-геологических методов экологической направленности	88
11.1. Предметная область инженерно-геологических методов исследования.....	88
11.2. Общая характеристика метода инженерно-геологической съемки.....	88
11.3. Климатические исследования.....	89

11.4. Общая характеристика гидрогеологических методов исследования.....	90
11.5.Общая характеристика почвенно-ботанических методов исследования.....	90
11.6. Общая характеристика геолого-тектонических методов исследования.....	91
11.7. Общая характеристика геоморфологических методов исследования.....	91
11.8. Общая характеристика инженерно-геологических методов исследования.....	92
11.9. Задачи радиометрических методов исследования.....	93
11.10. Пенетрационные методы исследования.....	94
Вопросы для самоконтроля.....	95
Список литературы	95
Лекция 12. Эколого-географическая характеристика территории при выполнении экологических исследований	96
12.1.Современные методы географического описания.....	96
12.2. Понятие о географической фации.....	96
12.3. Методы физико-географического описания ландшафта.....	97
12.4. Общая характеристика гидрометеорологического метода исследования экосистем.....	97
12.5. Методы и средства гидрометеорологии.....	98
Вопросы для самоконтроля.....	102
Список литературы	102
Лекция 13. Аэрокосмические методы - перспективная группа дистанционных методов экологических исследований территории.....	103
13.1. Понятийный аппарат дистанционных методов экологических исследований.....	103
13.2.Общие представления о технических средствах дистанционных методов изучения экосистем	104
13.3.Методы обработки аэрокосмической информации.....	105
Вопросы для самоконтроля.....	108
Список литературы	108
Лекция 14. Биоиндикационные методы исследования в экологии – видовой и биоценотический уровни.....	109
14.1.Биоиндикация, биоиндикаторы, типы биоиндикационных реакций организмов.....	109
14.2. Антропогенные факторы, вызывающие стресс у биологических систем.....	111
14.3. Биоиндикация на различных уровнях организации живой материи.....	113
14.4. Биохимические и физиологические реакции растений на антропогенные стрессоры.....	114
14.5. Воздействие антропогенных стрессоров на морфологическую структуру растений.....	118
14.6. Биоиндикация как средство контроля состояния окружающей среды.....	122
Вопросы для самоконтроля.....	127
Список литературы	127
Лекция 15. Математическое моделирование экологических систем - основное условие повышения достоверности результатов	128
15.1. Понятийный аппарат математического моделирования в экологии.....	128
15.2. Реальные и знаковые модели в моделировании экосистем.....	128
Вопросы для самоконтроля.....	129
Список литературы	130
Библиографический список	131
Содержание	132