

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный аграрный университет  
имени И. Т. Трубилина»

Ю. Ю. Никифоренко, О. А. Мельник

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Краснодар  
КубГАУ  
2022

**УДК 504.064 (075.8)**

**ББК 28с**

**Н62**

**Рецензенты:**

**С. Н. Щеглов** – профессор кафедры генетики, микробиологии и биохимии Кубанского государственного университета, д-р биол. наук

**А. И. Мельченко** – доцент кафедры прикладной экологии Кубанского государственного аграрного университета, д-р биол. наук

**Никифорова Ю. Ю.**

**Н62** Методы экологических исследований : учеб. пособие / Ю. Ю. Никифорова, О. А. Мельник. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 87 с.

**ISBN 978-5-907550-36-0**

В учебном пособии рассмотрены основные группы методов экологических исследований. Приведены общие принципы и особенности использования различных методов исследований при изучении экологических объектов.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

**УДК 504.064 (075.8)**

**ББК 28с**

- © Никифорова Ю. Ю.  
Мельник О. А., 2022
- © ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет имени  
И. Т. Трубилина», 2022

**ISBN 978-5-907550-36-0**

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие позволяет ознакомиться с основными способами и методологией изучения различных экологических систем и объектов. Взаимосвязи в экосистемах сложно организованы, что обуславливает большое разнообразие методов для их изучения.

Представленный теоретический материал имеет важное значение в процессе обучения экологическим направлениям исследований, поскольку помогает систематизировать полученные знания и сформировать представление о многообразии методов, используемых для изучения компонентов природной среды, помогает грамотно и целенаправленно их использовать.

В учебном пособии представлен материал в объеме, необходимом для освоения физических, химических и биологических основ в экологии и природопользовании; методов химического анализа, отбора и анализа геологических и биологических проб, а также навыков идентификации и описания биологического разнообразия, его оценки современными методами количественной обработки информации, планирования и организации полевых и камеральных работ.

Для оценки природных сред и возможности изучения происходящих в них изменений существует масса разнообразных подходов, методов и инструментов из различных областей науки. В связи с этим весь набор методов и оценочных средств, используемых в экологии, стандартизирован, чтобы полученные данные можно было сравнивать между собой. Важное значение имеют методы, используемые для получения качественных и количественных оценок. Ученые разных стран по всему миру участвуют в разработках новых средств и методов контроля динамически меняющихся параметров окружающей среды.

Внедрение в практику современных, точных, многократно опробованных методов фиксации результатов изменений параметров среды, позволяет своевременно принимать эффек-

тивные управленческие решения для контроля, охраны и предотвращения деградации окружающей среды.

Каждому специалисту важно знать многообразие традиционных и современных экологических методов исследований, что позволит проводить качественные и своевременные исследования компонентов окружающей среды. Также важно умение грамотно интерпретировать полученные результаты экологических исследований. Сложность состоит в том, что в процессе исследования натуральных объектов часто используют разные методы для оценки одних и тех же параметров, выявления схожих процессов, определения степени изменений в природной среде. В этой связи важной задачей специалиста эколога является выбрать необходимые средства и методы для работы и оценки состояния окружающей среды и ее компонентов.

# ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Экосистема как объект экологических исследований

Концепция экосистем по Ю. Одуму является главенствующей в современной экологии – именно на изучении свойств структуры и динамики экосистем должны быть сконцентрированы усилия экологов. Представляет интерес проанализировать ряд определений природных объектов, которые, по мнению исследователей, могут претендовать на роль основных изучаемых объектов в экологии.

Главный объект изучения в экологии – экосистемы. Экосистема – это сложноорганизованный природный комплекс, который образован живыми организмами и их средой обитания, включающий в себя сложную систему связей, обеспечивающую обмен веществом и энергией.

Термин «экосистема» в 1935 г. ввел британский ботаник, один из родоначальников экологической науки Артур Георг Тенсли (A. G. Tansley, 1871–1955 гг.). Любая экосистема включает в себя не только живые существа, но и их среду обитания и представляет собой живую, динамичную систему, в которой обеспечивается сложная, разветвленная связь различных видов и сообществ между собой и с объектами неживой природы благодаря биологическому, химическому и физическому взаимодействиям, поддерживающим жизнеспособность сообществ и каждого организма в отдельности, помогая им приспособиться к изменяющимся условиям окружающей среды.

В зависимости от природы происхождения различают естественные и искусственные экосистемы. Естественные экосистемы сформировались в естественных природных условиях. К ним относятся лес, пустыня, озеро, тундра, степь и др. Искусственные экосистемы созданы человеком, поэтому их

называют антропогенными. Примеры таких систем – оранжерея с выращенными в ней растениями, аквариум с рыбами, освоенные целинные земли, картофельное поле и др. Все экосистемы в зависимости от среды обитания делятся на наземные и водные. К наземным экосистемам относятся леса, степи, пустыни и т. д. Водные экосистемы – это все экосистемы гидросферы: пруды, озера, реки, океаны и др. Такое деление весьма условное: например, вода – не только среда обитания, но и один из источников жизнеобеспечения многих живых организмов, обитающих на суше.

## **1.2 Иерархические уровни объектов экологических исследований**

Иерархия экосистем – функциональное соподчинение экосистем различного уровня организации. Данный ряд включает следующие компоненты:

1. Биogeоценоз – это устойчивая система, в которой сообщества живых организмов тесно связаны с совокупностью абиотических факторов среды в пределах одной территории. Это саморегулирующаяся экологическая система, в которой биотические компоненты (животные, растения) неразрывно связаны с неорганическими (вода, почва).

2. Биogeоценотический комплекс – горизонтальное или вертикальное сочетание двух или нескольких биogeоценозов, составляющих единство экологической системы (например, сочетание участков реки, леса и луга).

3. Ландшафт – это конкретная территория, однородная по своему происхождению и истории развития, неделимая по зональным и аональным признакам, обладающая единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий, почв, биogeоценозов, с характерным набором простых геокон-

плексов. С экологической точки зрения, ландшафт имеет средообразующую и ресурсовоспроизводящую функции.

4. Биом – это крупный тип биогеоценозов, характеризующийся сходным характером растительности и занимающий определенные регионы планеты. Биомы регулируются макроклиматом (количество осадкой и температуры).

5. Природный пояс – крупнейшее зональное подразделение географической оболочки, опоясывающее земной шар в широтном направлении. Обособление природного пояса происходит в основном в связи с близким значением прихода солнечной радиации. Каждый природный пояс имеет определенный радиационный (тепловой) баланс, отличный от соседнего; часто общие черты атмосферной циркуляции, например, в умеренных широтах – западный перенос воздушных масс; скорость круговорота веществ и энергии, ритмики вегетационного периода растений, скорости и типы рельефообразования и биохимических процессов, главные черты почв и животного мира.

6. Биогеографическая область – крупное по площади флористически-фаунистическое подразделение земного шара, выделяемое по общности историко-эволюционного развития фауны и флоры. Как правило, внутри области растительный и животный мир характеризуется высокой степенью однородности. При переходе от одной области к другой наблюдается резкий сдвиг в таксономическом составе на уровне родов и семейств.

7. Биосфера – наружная оболочка Земли, населенная живыми организмами, составляющими в совокупности живое вещество планеты. Это открытая система, структура и свойства которой определяются деятельностью организмов в прошлом и настоящем. Биосферу можно рассматривать как часть лито-, гидро- и атмосферы, заселенную живыми существами.

Иерархия экосистем означает, что всякая экологическая система включает в себя несколько экосистем предыдущего уровня, меньших по площади, а сама она, является составной

частью более крупной экосистемы. Каждый уровень иерархии экосистемы формируется определенным системообразующим фактором и имеет относительно самостоятельный круговорот веществ.

### **1.3 Принцип выделения границ экологических исследований**

Все объекты экологических исследований являются системами взаимодействующих биоценотических и экотопических составляющих и различия наблюдаются лишь в определении границ этих систем в природе. Конкретизация границ экосистемы во многом зависит от целей исследования (вплоть до выделения групп сопряженных видов для анализа их взаимодействия в рамках моделей Лотка-Вольтерра или при построении флористической классификации растительности). С другой стороны, точное задание границ, например, биогеоценоза, подразумевает разделение непрерывного по своей природе пространства экоценотических факторов на своеобразные дискретные «соты», что отражает организменные аналогии в противовес современным континуальным представлениям об экологических объектах.

Все это заставляет рассматривать «экосистему» в определении Ю. Одума как основной объект экологического исследования. И теоретически, и операционально можно определить только нижнюю границу экосистемы: ее масштаб задается основной функцией – биогенным круговоротом вещества, сопровождаемым потоками энергии и информации. Биом (ландшафтная зона) или биосфера в целом также выполняют ту же функцию, поэтому верхняя граница экосистемы устанавливается условно. В свою очередь, понятием «экосистема» задается верхняя граница по градиенту объектов экологии: особь – популяция – экосистема.



При выделении границ территориального объекта, как правило, учитывается административный аспект или требования заказчика. Например, выполнить оценку геоэкологического состояния г. Краснодара (административная граница) или оценить геоэкологическое состояние поймы р. Кубань в пределах Тбилисского района Краснодарского края (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, Кубанское водохранилище (гидротехнический комплекс), Ильский нефтеперерабатывающий завод, АЗС 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.

#### **1.4 Этапы экологических исследований**

Экологические исследования зачастую включают в себя определенный алгоритм действий разной степени сложности. Например, при изучении взаимодействий отдельных компонентов экосистемы, план исследования может быть узким, но глубина его проработки для получения качественного научного результата должна быть очень серьезной. Однако, комплексное натурное исследование включает в себя изучение всего комплекса биотических и абиотических составляющих экосистемы, что требует привлечения широкого круга исследователей, большого количества оборудования и времени на научную работу.

Грамотно спланированное экологическое исследование должно осуществляться поэтапно, согласно следующему плану:

*1. Выявление экологической проблемы.* Проблема может быть очевидной (непосредственно наблюдается факт негативных изменений в окружающей среде) или неочевидной (ее факт можно установить по косвенным признакам, например, сильный запах, миграция животных и т. д.). Часто о проблеме становится известно в результате аэрофото- или космической съемки.

Факт выявления проблемы документируется и подписывается ответственными лицами. Желательно в качестве приложений дополнить акт аэрофото- или космическими снимками, а также анализами отобранных образцов (если была такая возможность). После установления факта наличия проблемы приступают к следующему этапу исследований.

*2. Постановка цели и задач исследования.* Для установления причины и степени нарушенности среды в результате негативных воздействий формируется одна конкретная цель, которая в результате работы должна быть достигнута.

Задачи (их как правило несколько) формулируются четко и именно в той последовательности, в которой планируется проводить исследование (логически выстроенный план работы).

*3. Подбор методологии, методов и методик.* Под методологией понимается выбор основного генерального направления исследований. Как правило при подборе методик и правил предпочтение отдают общепринятым утвержденным специальными органами. Однако в некоторых случаях, допускается применение экспериментальных методик и методов, но в таком случае необходимо проводить сравнение полученных результатов с устоявшимися и опробованными на национальном и международном уровне. Например, внедрение электронных метеостанций, долгое время сопровождалось работой стандартных метеопостов с традиционными приборами и оборудованием.

При проведении серьезных исследований, включающих изучение огромных площадей, массивов данных, привлечение

большого числа узких специалистов, нельзя применять упрощенные схемы и подходы. Любые изменения должны иметь научное подтверждение (методики многократно апробированы и аттестованы, приборы поверены, персонал обучен, отчетная документация унифицирована и стандартизирована). Это позволит добиться строгой научности полученных данных и корректности результатов для их дальнейшего использования при прогнозировании и моделировании.

4. *Финансирование исследований.* В зависимости от цели исследования заказчиками могут быть государственные органы, общественность, предприятия, организации, научные подразделения и т. д. Общий объем финансирования расписывается на весь период проведения работ. Для получения этих средств либо используется имеющийся расчетный счет, либо открывается специальный (целевой) счет, движение средств на котором может контролироваться во время аудита.

На этапе составления сметы у заказчика необходимо выяснить требования к качеству и точности проводимых исследований, так как расходы напрямую будут зависеть от используемого оборудования, программного обеспечения и материалов.

5. *Назначение ответственного руководителя.* Руководитель выбирается из числа сотрудников организации и несет ответственность за все происходящее в период исследований. Полномочия руководителя оговариваются заранее и прописываются трудовом договоре, также дополнительно могут быть составлены должностные инструкции.

Основной задачей руководителя является научная проработка всех этапов исследования. Руководитель вправе принимать решения, идущие вразрез с устоявшимися, общепринятыми нормами и научными суждениями, если считает, что руководимый им коллектив способен таким образом добиться значительно больших успехов и в более короткие сроки.

6. *Привлечение экспертов.* Экспертами могут быть ученые, исследователи, специалисты, профессионально занимаю-

щиеся исследуемой проблемой. Решение о привлечении экспертов принимает руководитель. Эксперты могут работать как на платной, так и безвозмездной основе. Часто при проведении серьезных исследований привлекаются только аттестованные эксперты, имеющие соответствующие сертификаты.

*7. Разработка программы исследований.* На этапе планирования исследований, учитывая основные задачи, составляется два плана – тематический и календарный.

Тематический план включает в себя этапы исследования и последовательность их выполнения, ожидаемые результаты и возможные варианты дальнейшего развития событий. В тематическом плане должно учитываться большое число руководящих документов, нормативных актов, общепринятых сертифицированных методик. Руководитель имеет право пересмотреть план исследований в случае получения спорных или неожиданных результатов.

Календарный план исследований необходим для организации труда коллектива, планирования расходов, своевременного заказа необходимого оборудования, материалов, переподготовки и повышения квалификации сотрудников и для других утилитарных целей.

*8. Составление перечня необходимого оборудования, приборной базы и программного обеспечения для исследований.* Инвентарь – это вспомогательное материальное имущество, не имеющее непосредственного отношения к научной стороне исследования (лопата, ведро, клеенка и т. д.).

Оборудование – специальное материальное имущество, являющееся носителем приборов, которые могут на них устанавливаться (передвижные комплексы для установки метеорологического, гидрологического и иного обеспечения).

Приборы – это технические изделия для наблюдений или других манипуляций в исследовании. Они могут быть механическими, физическими, химическими, электронными. Перед использованием в эксперименте необходимо проводить их ка-

либровку, градуировку, юстировку, поверку, метрологический контроль и сертификацию.

Программное обеспечение – устанавливаться на компьютеры и ноутбуки сотрудников, а также непосредственно в приборы, используемые в работе. Например, большинство бортовых комплексов в авиакосмической отрасли, на судах и военных кораблях работают в режиме постоянного анализа, когда данные получаются в непрерывном режиме, обрабатываются, сохраняются в базах данных, систематизируются по нужным группам и к ним удобно обратиться в любой момент времени для получения более или менее обобщенной картины.

Однако, планируя закупку таких приборов, необходимо заранее знать об особенностях их обслуживания, оснащения и поддержания в работоспособном состоянии. Неадекватно спланированные затраты или резкий рост цен на запчасти, обновление программного обеспечения или расходные материалы (химреактивы и др.) способны практически парализовать эксперимент.

К перечню дополнительного обеспечения могут относиться и аэрофото- и космические снимки, кадастровые данные, необходимые в исследовании. Такие данные могут запрашиваться за определенный период или на определенную территорию, либо заключается договор с организациями, которые будут в течение какого-либо времени осуществлять поставку такой информации потребителю.

9. *Составление рабочих групп.* Рабочие группы составляются из профессионалов в той или иной области по нескольким направлениям. Состав рабочих групп может пройти специальную подготовку для обучения новым методикам исследований, работе на новом оборудовании, применению новых материалов; для изучения новых требований международных стандартов в исследованиях по данному направлению, внутренней документации организации или отрасли, в которой проводится исследование; для слаженности работы всей группы в ходе эксперимента.

*10. Разработка и формирование перечня руководящих документов.* Руководящие документы подразделяются на несколько уровней:

1. Общие документы по организации процесса работы (международные документы, федеральные законы, указы главы государства и постановления правительства, нормативные правовые акты специально уполномоченных государственных органов, положение о структурном подразделении, должностные инструкции и т. д.

2. Специальные документы по процессу экологического исследования (инструктаж по целям и задачам исследования, календарный и тематический научный план исследований, план подготовки и аттестации персонала, инструктаж по технике безопасности, набор аттестованных методик и др.

В зависимости от масштабов проводимых исследований состав и содержание документации могут изменяться.

*11. Составление плана научных и (или) учебных изданий по результатам экспериментов.* На этом этапе производится обзор работ и иных мероприятий, которые производились в рамках научных исследований, изучается массив многолетних мониторинговых работ. Данные, полученные при проведении эксперимента, должны быть представлены в научной литературе и являются источником для дальнейшего развития науки и обсуждения в профессиональных сообществах.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Дать понятие экосистемы как объекта экологических исследований.

2. Кто ввел понятие «экосистема»?

3. Привести примеры искусственных и естественных экосистем.

4. В чем различия и сходства естественных и искусственных экосистем?

5. В чем заключается опасность антропогенных изменений в экосистемах?

6. Перечислить существующие иерархические уровни экосистем.

7. Какими критериями определяется благоприятное экологическое состояние экосистемы?

8. Дать понятия определениям биогеоценоз, ландшафт, биом.

9. Как происходит выделение границ изучаемого объекта при проведении экологических исследований?

10. Приведите основные этапы экологических исследований. Дайте краткую характеристику каждому этапу.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2. 1 Системный подход как направление исследований**

Главным принципом и методологической основой всех экологических исследований является системный подход, учитывающий особенности объектов исследований и определяющие их факторы.

Системный подход – это направление, направленное на изучение объектов как целостных систем. Состав, структуру и свойства системы изучают посредством системного анализа, являющегося основой системного подхода и представляющего собой совокупность методологических средств, используемых для решения сложных научных проблем.

Среди основных системных принципов выделяют:

1) целостность – свойство объектов как совокупности их элементов, организованных в соответствии с определенными принципами;

2) структурность – установление взаимозависимости структурных элементов системы;

3) взаимозависимость системы и среды – формирование и проявление ее свойств в результате этого взаимодействия;

4) иерархичность – когда отдельный компонент системы рассматривается как обособленная система, но в то же время является составной частью более широкой системы.

5) множественность описания.

Системный анализ включает несколько основных этапов:

- выбор проблемы;
- постановка задачи и ограничение ее сложности;
- выбор путей решения задачи;
- моделирование;
- оценка возможных стратегий;
- внедрение результатов.



В современном мире применение в экологии системного подхода является основным при проведении научных исследований. Это позволяет усовершенствовать модели и приемы моделирования, что в свою очередь влияет на тактику экологических исследований и даже на методологические установки исследователей.

Успехи в моделировании и изучении экосистем, особенно в рамках Международной биологической программы, способствовали окончательному утверждению системной парадигмы, опирающейся на концепцию экосистемы, как основы современной экологии.

Системный подход к решению экологических проблем включает следующие этапы:

- отыскание возможных вариантов решения;
- определение последствий использования каждого из возможных вариантов решения;
- применение объективных критериев, которые помогают принять решение.

Существует несколько положений, которые необходимо учитывать при системном анализе:

- процесс принятия решения должен осуществляться таким образом, чтобы используемые способы выбора решения можно было оценить, улучшить или заменить;
- критерии оценки решения должны быть четко сформулированы;
- усилия, затраченные на выявление связей между причинами и следствием, должны быть оправданы лучшим пониманием проблемы.

Теория систем формулирует общие принципы строения и законы функционирования систем, развитие этой теории состоит в разработке математического аппарата для описания поведения систем разных типов в разных условиях. Системный подход является основным при изучении и анализе экосистем различного уровня.

## 2.2 Методологические подходы в экологических исследованиях

В зависимости о цели и объекта экологического исследования используют разные подходы: популяционный, экосистемный, эволюционный и 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 структурнофункциональной 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 факто-

ров 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.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что является главным принципом экологических исследований?
2. Какие основные системные принципы выделяют при проведении экологических исследований?
3. Перечислите основные этапы системного анализа.
4. Приведите примеры реализации системного анализа в методологии экологических исследований.
5. Какие основные этапы системного подхода реализуются при решении экологических проблем?
6. Какие основные преимущества существуют при использовании системного подхода в экологических исследованиях?
7. Какие методологические подходы используют при проведении экологических исследований?
8. Охарактеризовать популяционный подход. Привести примеры.
9. В чем суть экосистемного подхода? Для изучения каких экологических объектов он подходит?
10. Дать краткую характеристику эволюционному и историческому подходу. Какое он имеет значение для экологических исследований?

## ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Представление об экологической информации

Экологическая информация – это сведения о лицах, предметах, фактах, событиях и процессах, имеющих значение для охраны окружающей среды, экологической безопасности, охраны здоровья граждан, независимо от формы их представления.

Закон РФ «Об охране окружающей среды» говорит о том, что граждане и общественные организации имеют право требовать предоставления своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей природной среды и мерах по ее охране.

Пользователями экологически важной информацией является более полный круг субъектов экологического права. В него входят граждане, публичные формирования, лица, занимающиеся предпринимательской деятельностью без образования юридического лица, компании и организации, муниципальные структуры. Экологически важной информацией пользуются представительные, исполнительные, судебные органы на всех уровнях государственной власти.

Экологическая информация представляет собой массив данных:

- 1) о состоянии воды, воздуха, земли, почвы, флоры, фауны, недр, природных ландшафтов и комплексов;
- 2) об экологической угрозе или риске для здоровья и жизни людей, а также химических, физических и биологических воздействиях на состояние окружающей среды и их источниках;
- 3) о деятельности, отрицательно влияющей или могущей повлиять на природные объекты и человека, и мерах по охране окружающей среды, в том числе правовых, административных и иных мерах;

4) о деятельности государственных органов, юридических лиц и граждан-предпринимателей в сфере распоряжения природными ресурсами, природопользования, охраны окружающей среды.

### **3. 2 Критерии качества экологической информации**

Качество данных – это характеристика, которая позволяет оценить степень пригодности экологической информации (данных), полученных в ходе исследований, для дальнейшего использования. Оценка качества экологической информации проводят по следующим критериям:

1. Полнота – предполагает, что она должна быть представлена в том объеме, в котором обладает (должен обладать) субъект, обязанный ее предоставить.

2. Достоверность – это фактическое соответствие экологической информации действительности. Достоверной будет являться объективная, собранная с применением современных научных и технических способов и средств, заведомо неискаженная информация об окружающей среде, которой располагают специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей среды. Законодательством предусмотрена ответственность за предоставление недостоверной экологической информации.

3. Точность – степень близости измеренного значения к независимо установленной действительной величине.

4. Репрезентативность – это способность выборочной совокупности (то есть того множества объектов, которые исследуются на эмпирическом уровне) отражать свойства генеральной совокупности (того множества объектов, которое предполагается изучить). Репрезентативности необходимо добиваться, когда по части объектов (по выборочной совокупности) необходимо судить обо всей их совокупности (о генеральной совокупности).

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что представляет собой понятие «экологическая информация»?
2. Кто является пользователями экологической информации?
3. Дать краткую характеристику основным видам экологической информации.
4. Какие существуют источники экологической информации?
5. Назовите основные критерии качества экологической информации?
6. Что такое полнота экологической информации?
7. Какие факторы влияют на достоверность и точность экологической информации?
8. Для чего в экологических исследованиях необходимо добиваться репрезентативности данных?
9. В каком случае экологическая информация считается непригодной для дальнейшего анализа и интерпретации данных?
10. Какие государственные органы заинтересованы в получении качественной экологической информации?

## ГЛАВА 4. ПОНЯТИЕ О МЕТОДАХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4. 1 Многообразие методов экологических исследований

Экология занимается изучением различных объектов от единичных особей до биосферы в целом. Многообразие связей, формирующихся на уровне разных по сложности биологических систем, обуславливает большое разнообразие методов экологических исследований, с помощью которых можно изучать количественные и качественные особенности организмов в условиях среды их обитания, воздействие на среду антропогенных факторов и т. д.

Методы экологических исследований отличаются междисциплинарностью и имеют широкое разнообразия. По особенностям применения выделяют общенаучные и частные (собственно экологические) методы.

*Общенаучные методы* исследований в экологии чаще все включают эмпирические и теоретические.

К эмпирическим методам исследования относятся:

1. Наблюдение – целенаправленное, организованное, планомерное изучение объектов, как правило осуществляющееся с помощью органов чувств. В ходе наблюдения исследователь получает информацию о характере объекта, его свойствах и внешней структуре. Исследователь лишь регистрирует ход природных процессов, не вмешиваясь в него.

Наблюдение может быть непосредственным (исследователь самостоятельно изучает явления и процессы, происходящие с объектом) и опосредованным (наблюдение проводится посредством различных технических устройств и приборов).

Среди основных требований к научному наблюдению выделяют: однозначность замысла (что именно наблюдается); возможность контроля путем либо повторного наблюдения, либо с помощью других методов (например, эксперимента).



2. Эксперимент – активное и целенаправленное вмешательство в протекание изучаемого процесса, соответствующее изменение исследуемого объекта или его воспроизведение в специально созданных и контролируемых условиях, определяемых целями эксперимента. В его ходе изучаемый объект изолируется от влияния побочных, затемняющих его сущность обстоятельств и представляется в «чистом виде». Исследователь активно вмешивается в природные процессы. Исследователь искусственно формирует условия, в которых проходит эксперимент.

Основные особенности эксперимента: а) более активное (чем при наблюдении) отношение к объекту исследования, вплоть до его изменения и преобразования; б) возможность контроля за поведением объекта и проверки результатов; в) многократная воспроизводимость изучаемого объекта по желанию исследователя; г) возможность обнаружения таких свойств явлений, которые не наблюдаются в естественных условиях.

3. Сравнение – познавательная операция, выявляющая сходство или различие объектов (либо ступеней развития одного и того же объекта), т. е. их тождество и различия. Оно имеет смысл только в совокупности однородных предметов, образующих класс. Сравнение предметов в классе осуществляется по признакам, существенным для данного рассмотрения. При этом предметы, которые можно сравнить по одному признаку, бывает невозможно сравнить по другим.

Сравнение является основой такого логического приема, как аналогия, и служит исходным пунктом сравнительно-исторического метода. Его суть – выявление общего и особенного в познании различных ступеней (периодов, фаз) развития одного и того же явления или разных сосуществующих явлений. На практике различают ряд его форм. Например, сравнительно-сопоставительный метод, выявляющий природу разнородных объектов; сравнительно-историко-генетический, показывающий сходство явлений как результат их родства по про-

исхождению; сравнение, фиксирующее взаимовлияния различных объектов и явлений. В прикладных исследованиях сравнительный метод используется в качестве основного при классификации, типологии, оценке, генерализации. Он позволяет разделить общие и отличительные признаки и свойства изучаемых объектов и процессов их развития. Успешное применение сравнительного метода подразумевает унификацию приёмов наблюдения, включая стандартизацию исходных данных и получаемых результатов. Недостатком сравнительного метода является неспособность, в ходе его использования, управлять истинно «независимыми» переменными исследуемого объекта при возможном влиянии, неизвестными способами, этих переменных на значимые показатели, в которых предполагается прямая причинная или сопутствующая связь.

4. Описание – познавательная операция, состоящая в фиксировании результатов опыта (наблюдения или эксперимента) с помощью определенных систем обозначения, принятых в науке.

5. Измерение – совокупность действий, выполняемых при помощи определенных средств с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения.

Следует подчеркнуть, что методы эмпирического исследования никогда не реализуются «вслепую», а всегда «теоретически нагружены», направляются определенными концептуальными идеями. Именно на эмпирическом уровне отображаются существенные связи между различными явлениями в окружающей природной среде, определяются их свойства, дается описание в математической и графической форме.

Теоретические методы исследования помогают определить проблему, сформулировать гипотезу, проанализировать собранный материал и сделать грамотные выводы.

К теоретическим методам экологических исследований относятся:

1. Анализ – метод научного исследования, в основе которого лежит принцип разложения целостного объекта на составные части для детального и всестороннего их изучения. В экологических исследованиях анализу подвергается большой объем информации (научная литература, архивные базы данных, экологическая документация, экспериментальные данные и т. д.).

2. Синтез – исследовательский метод, основанный на объединении отдельных частей изучаемого объекта в единую систему (целостный объект).

3. Индукция – движение познания от фактов к утверждениям общего характера.

4. Дедукция – движение мысли от общих утверждений к менее общим, в том числе к утверждениям об отдельных предметах.

*Частные (собственно экологические) методы* – это узконаправленные методы работы специалистов в определенной области знания. Сюда относятся: метод пробных площадок, трансектный метод, метод изъятия, микроскопия, методы изоферментного анализа, рентгеноструктурного анализа, биоморфологического анализа, группового анализа, морфофизиологических индикаторов, интродукционный, индикации загрязнения среды, дистанционного исследования экосистем, атомноадсорбционной спектрофотометрии и т. д.

Частные методы являются методологией конкретного научного направления исследований. Собственно, методы, как часть общей программы исследования, подтверждают либо опровергают то или иное утверждение, предложенную гипотезу. Комплексный и развернутый анализ изучаемого явления возможен с помощью частных методов или частных и общих методов в совокупности.

## **4.2 Комплексный экологический мониторинг как один из главных методов изучения динамики экосистем**

Экологический мониторинг (от лат. «monitor» – предупреждающий, наблюдающий) – это комплексная система наблюдений, оценки, контроля и прогнозирования состояния окружающей природной среды под воздействием антропогенных процессов.

Целью комплексного экологического мониторинга является аккумуляция информации (сбор, обработка, своевременное представление), что позволяет диагностировать изменения, происходящие в экосистемах, и своевременно определять отклонения от нормального уровня их функционирования. Это постоянная оценка условий среды обитания всего живого.

Задачами мониторинга являются:

- организация и осуществление единой системы сбора и обработки экологической информации;
- отслеживание динамики состояния природных и антропогенных экосистем, а также оценка их фактического состояния;
- наблюдение за источниками и факторами антропогенного воздействия;
- прогноз изменения состояния объектов природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия.

Экологический мониторинг включает в себя следующие практические направления:

1. Наблюдение за источниками загрязнения и негативными факторами, воздействующими на окружающую среду. Такие мероприятия как правило проводятся на конкретных территориях отдельных объектов (предприятия, районы населенных пунктов, участки ландшафтов). Проводится контроль количественного и качественного состава загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах, сбросах, местах хранения отходов.

2. Оценка фактического состояния окружающей среды и уровня ее загрязнения. Такие наблюдения основаны на отслеживании геофизических (природные явления катастрофического характера: вулканы, землетрясения, эрозии, цунами), физико-географических (распределение суши и воды, рельеф, природные ресурсы, народонаселение, урбанизация), геохимических (круговорот веществ, химическое, шумовое загрязнение атмосферы), химических (химический состав атмосферных примесей природного и антропогенного происхождения, осадки, поверхностные и подземные воды, грунт, растения, основные пути распространения загрязнителей), явлений, процессов и изменений с фиксацией соответствующих данных;

3. Наблюдение за состоянием биотической составляющей биосферы. Отслеживаются реакции отдельных организмов, популяций или группировок (групп растительных и животных организмов, которые постоянно или временно сосуществуют на определенных территориях). Также наблюдают за функциональными и структурными биологическими особенностями с приростом биомассы за час времени, скоростью поглощения разных веществ растениями или животными, численностью видов растений и животных, общей биомассой.

4. Наблюдение за реакцией крупных экологических систем (климат, мировой океан, биосфера). Для установления динамики изменений состояния биосферы замеры повторяют через определенные промежутки времени, а важные показатели отслеживают постоянно.

Система наблюдений может основываться на организации замеров в конкретных точках (на станциях) или на обширной территории и получении интегральных показателей. Часто эффективным является комбинированное использование обоих подходов.

5. Прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценка этого состояния.

Система комплексного экологического мониторинга предусматривает:

- выделение объекта наблюдения;
- обследование выделенного объекта наблюдения;
- составление для объекта наблюдения информационной модели;
- планирование измерений;
- оценку состояния объекта наблюдения и идентификацию его информационной модели;
- прогнозирование изменения состояния объекта наблюдения;
- предоставление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя.

В зависимости от объекта наблюдений выделяют различные виды мониторинга: атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический, растительности, животного мира, здоровья населения и т. п.

Правильный подбор показателей и точное определение их критических значений в сочетании с оптимальным временным регламентом мониторинга, позволят своевременно выполнить защитные или профилактические мероприятия.

В Российской Федерации функционируют несколько ведомственных систем мониторинга: служба наблюдений за загрязнением окружающей среды Росгидромета; служба мониторинга водных ресурсов Роскомвода; служба агрохимических наблюдений и мониторинга загрязнений сельскохозяйственных земель Роскомзема и др.

## **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие группы экологических исследований выделяют в зависимости от особенностей применения?
2. Что включают в себя общенаучные экологические исследования?
3. Какие методы исследований относят к эмпирическим? Дать краткую характеристику.

4. Что включают в себя теоретические исследования в экологии? Перечислить основные их виды.
5. Каким образом в экологических исследованиях осуществляется наблюдение за изучаемыми объектами?
6. Какой логический прием используется при анализе и интерпретации результатов экологических исследований?
7. Чем отличается описание от измерения?
8. Назовите частные (собственно экологические) методы исследования?
9. В чем проявляется комплексность экологических исследований в рамках мониторинга?
10. Обосновать значимость комплексного экологического мониторинга при изучении окружающей среды.
11. Перечислите основные задачи экологического мониторинга.
12. Какие практические направления охватывает экологический мониторинг?
13. Какие основные этапы включает в себя комплексный экологический мониторинг?
14. Приведите примеры проведения комплексного экологического мониторинга.

# ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 5.1 Общие принципы полевых исследований в экологии

Полевые методы предполагают изучение экологических явлений непосредственно в природе. Они помогают установить взаимосвязи организмов, видов и сообществ со средой, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности биосистем.

Полевые методы исследования для эколога имеют первостепенное значение, поскольку:

- обеспечивают возможность изучения свойств живых организмов, популяций, сообществ и биосферы в природной среде;
- позволяют обнаружить взаимосвязи организмов, видов и сообществ как со средой, так и между собой;
- определить адаптации живого к окружающей среде;
- установить общую картину развития природы в конкретных условиях того или иного региона;
- выяснить комплекс факторов и их воздействие в природной обстановке;
- изучать экологические явления непосредственно в природной среде.

При проведении полевых экологических исследований наиболее часто используемыми являются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики и других наук. Экологические исследования имеют тесную связь с физиологическими. Экология, 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 внутривидовой популяционной разнородности.



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).

Во время полевых исследований определяют распространение, численность и качество вида, популяции, биоценоза, экосистемы, озер, рек и других объектов.

Проводят исследования по влиянию абиотических, биотических, антропогенных факторов на организмы. Сбор материалов проводится длительно, в любое время года, охватывает все географические природные зоны.

Данные полевых опытов обрабатываются в лабораторных условиях. Лаборатории должны соответствовать международным стандартам и оснащены современным оборудованием: климат-камерами, видеоаппаратурой, оптическими приборами, аналитическими весами, топографическими приборами, термостатами, хроматографией, электронными машинами, микроскопами, компьютерами.

Полевые опыты полностью не раскрывают содержания научной работы. Только на основе лабораторных опытов определяются способность организмов к размножению, половые и возрастные особенности. Кроме того, изучение поведения организмов, уровня загрязнения воздуха, воды, почвы требует экспериментального подтверждения. Поэтому наблюдения за объектами исследований ведутся в лабораторных условиях методом постановки лабораторного опыта. На основе сравнения результатов полевых и лабораторных опытов обосновывается их научное и практическое значение.

## **5.2 Разнообразие полевых методов экологических исследований**

В настоящее время существует и активно используется в экологических исследованиях большое разнообразие полевых методов. В зависимости от специфики исследований в экологии наиболее распространены следующие:

1. Маршрутный метод – широко используется при проведении крупномасштабных полевых исследованиях, а также при изучении и картировании почв, растительности, рельефа, горных пород и гидрогеографических показателей. Используются главным образом для поиска и определения местонахождения экологических объектов (например, присутствие тех или иных жизненных форм организмов, экологических групп, фитоценозов, охраняемых видов, комплекса факторов среды и т. п.), их разнообразия и встречаемости на исследуемой территории.

Маршруты при геолого-экологическом картировании прокладываются по результатам анализа аэрокосмических, геологических, геохимических и других материалов.

Во время маршрутов определяется состояние геологической среды, ландшафтно-индикационные исследования, в процессе которых выявляются антропогенные индикаторы и нарушенные индикационные связи между различными компонентами ландшафта под воздействием техногенеза. Также обследуются ключевые участки интенсивного воздействия техногенных объектов на геологическую среду.

Маршруты в ненарушенных (естественных) условиях проходят от водораздела к дрене бассейна местного стока и вдоль дрены. Участки с повышенной концентрацией загрязняющих веществ должны пересекаться маршрутами. В маршрутах проводится дешифрирование аэроснимков, радиометрические наблюдения, отбираются пробы для геохимических анализов, отмечаются аномалии растительности.

В нарушенных условиях дополнительно прокладываются маршруты от источника загрязнения по направлению предполагаемого простираания ареала загрязнения с учетом розы ветров и направления потока грунтовых вод. Помимо работ, перечисленных выше, отмечаются нарушения рельефа: просадки, оврагообразование, оползни, обвалы, сели, свалки и т. д. На участках сброса загрязненных вод, на действующих водозаборах, каналах и других техногенных объектах отбираются пробы воды для определения тяжелых металлов и радиоактивных элементов.

Маршрутные исследования могут быть двух видов: системные – предполагают изучение всей площади и реконгносцировочные – когда изучают только часть площади (до 20 %). 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.

2. Стационарный метод – это метод длительного наблюдения за одними и теми же природными объектами, требующими их неоднократных описаний, измерений. Сюда относят наблюдения сезонного, круглогодичного или многолетнего характера. Описание и наблюдения широко применяются в стационарных исследованиях при регистрации основных особенностей изучаемых объектов, прямом наблюдении, выявлении факторов воздействия, картировании экологических явлений, инвентаризации ценных природных объектов.

Например, в стационарном исследовании растительного покрова после осмотра всего участка намечают места «пробных площадок» для более детального исследования его свойств. На таких площадках проводится тщательное описание местообитания, учитывается видовой состав, возраст растений и их фенологическое состояние (или осуществляется сбор дру-

гого фактического материала, например, о присутствии животных и их деятельности на данной территории).

Также в условиях городской среды часто устанавливают стационарные посты наблюдений – это специально оборудованные павильоны, в котором размещена аппаратура, необходимая для регистрации концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров по установленной программе. Из числа стационарных постов выделяются опорные стационарные посты, которые предназначены для выявления долгосрочных изменений содержания основных или наиболее распространенных загрязняющих веществ. Место для установки стационарного поста выбирается, как правило, с учетом метеорологических условий формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха. При этом заранее определяется круг задач: оценка средней месячной, сезонной, годовой и максимальной разовой концентраций, вероятности возникновения концентраций, превышающих ПДК, и др.

Перед установкой поста анализируют:

- расчетные поля концентраций по всем ингредиентам от совокупности выбросов всех стационарных и передвижных источников;

- особенности застройки и рельефа местности;

- перспективы развития жилой застройки и расширения предприятий промышленности, энергетики, коммунального хозяйства, транспорта и других отраслей городского хозяйства;

- функциональные особенности выбранной зоны;

- плотность населения;

- метеорологические условия данной местности и др.

Пост должен находиться вне аэродинамической тени зданий и зоны зеленых насаждений, его территория должна хорошо проветриваться, не подвергаться влиянию близкорасположенных низких источников (стоянок автомашин, мелких предприятий с низкими выбросами т. п.). Количество стационарных постов в каком-либо городе (населенном пункте)

определяется численностью населения, рельефом местности, особенностями промышленности, функциональной структурой (жилая, промышленная, зеленая зона и т. д.), пространственной и временной изменчивостью полей концентраций вредных веществ.

Для населенных пунктов со сложным рельефом и большим числом источников рекомендуется устанавливать один пост на каждые 5–10 км<sup>2</sup>. Чтобы информация о загрязнении воздуха учитывала особенности города, рекомендуется ставить посты наблюдений в различных функциональных зонах – жилой, промышленной и предназначенной для отдыха. В городах с большой интенсивностью движения автотранспорта посты устанавливаются также и вблизи автомагистралей.

3. 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 м<sup>2</sup>, 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 растительному 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.

4. Метод трансект – разработан Теетцманом в 1845 г. для изучения климатических, геоморфологических, почвенных, биотических и др. природных характеристик на трансектах. Трансекты – это воображаемые линии, пересекающиеся ландшафты или их комплексы в заданном направлении. Трансектный метод позволяет оценить в вертикальной и горизонтальной плоскостях пространственные взаимосвязи различных компонентов и морфологических элементов ландшафта, которые отражают качественную и количественную характеристику местоположений видов и сообществ. Также трансектный метод используют для выявления закономерностей распределения популяций в градиентах экологических факторов. Точки наблюдения на трансектах располагаются в наиболее характерных местах, репрезентативных для исследуемых территорий или их определенных участков.

Трансекты бывают нескольких типов. Выбор типа трансекта зависит от качественного и количественного характера исследования, от требуемой степени точности, особенностей биоты, размеров обследуемой территории и продолжительности исследования.

Линейная трансекта используется для сбора образцов на однородной площади. Такие трансекты закладывают также в пределах исследуемой территории, когда наблюдается четкий переход одних популяций и местообитаний в другие. Сущность метода – натягивание между двумя кольшками веревки, показывающей положение трансекты; сбор образцов или исследование ведется только в местах соприкосновения с линией трансекты.

Ленточная трансекта используется с целью получения более достоверных (качественных и количественных) данных. При закладке такой трансекты через изучаемое местообитание прокладывается полоса определенной ширины (0,5–1 м), образуемая двумя параллельными линейными трансектами, между которыми производится учет видов. Часто для сбора данных в пределах такой трансекты удобнее использовать линейную трансекту и квадратную раму. При анализе и обобщении данных на схеме вычерчиваются изменения высоты и других параметров вдоль трансекты.

Недостаток сплошного ленточного трансекта – трудоемкость сбора информации, зачастую связанная с ее избыточностью, поэтому часто применяют метод пунктирной трансекты, закладывая вдоль прямой линии (градиента среды) площадки (например, размером 1 × 1 м) на некотором расстоянии друг от друга и ведя учет только на них.

5. Метод эталонов – представляет собой модификацию метода «ключевых участков». Его часто применяют для биогеохимических поисков полезных ископаемых в ландшафтах с аллювиальными, золовыми и ледниковыми типами отложений. «Ключевые участки» закладывают в тех точках, где искомым индикат 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.

Существует два случая выбора эталонных участков:

1) в местах, где заранее известны и определены условия, для которых необходимо установить растительные индикаторы (участки 1-го рода);

2) выбор участка осуществляется по характеру растительного покрова, т. е. выбирается типичный участок какого-либо сообщества, индикационные значения которого следует установить (участки 2-го рода).

Эталонные участки 1-го рода применяются в тех случаях, когда необходимо выявить виды или сообщества, являющиеся индикаторами объекта, который встречается эпизодически в исследуемом районе. Размеры таких участков чаще всего обуславливаются естественными границами, но при значительных площадях, выделяются и описываются наиболее типичные площади размером 100 м<sup>2</sup>.

Эталонные участки 2-го рода чаще используются для выявления связи растительности с таким объектом, который в данном районе является сплошным и повсеместным. Размеры таких участков в травянистых сообществах составляют 100 м<sup>2</sup>, а в лесных 250 м<sup>2</sup>.

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 определяют содержание химических элементов. Полученные результаты используют для расчета коэффициентов биологического поглощения.

6. Метод ординации – представляет собой упорядочение видов или сообществ в виде рядов вдоль осей, отражающих изменения определенных экологических факторов. Позволяет достаточно точно проследить воздействие внешних факторов на живые объекты.

Методы ординации делятся на прямые, когда ординация ведется по реальным факторам среды (экологическим, пространственным, временным) и непрямым, когда упорядочение объектов происходит вдоль направления изменения сходства между описаниями. Также выделяют одномерные (ординация вдоль одного фактора или одной оси) и многомерные (вдоль нескольких факторов или осей).

Для правильного проведения исследований все экологические факторы должны быть ранжированы в определенной последовательности с учетом их важности для размещения ви-



дов. 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.

Примером прямой одномерной ординации являются эдафо-фитоценотические ряды, разработанные В. Н. Сукачевым. Фитоценотический ряд показывает, как ассоциации или группы ассоциаций последовательно располагаются в зависимости от изменения какого-либо фактора. В природе ассоциации или группы ассоциаций, образующие эдафо-фитоценотический ряд, могут встречаться на разобщенных участках территории.

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.

7. Метод градиентного анализа – 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 пробны площадей от аэрофотоизоб-

ражений местности. Исследовать роль конкретного фактора можно при постановке эксперимента в полевых или лабораторных условиях.

Правильно организованные исследования с грамотным подбором методологии их проведения дают надежный фактический материал не только в виде качественных характеристик, но и с количественными показателями, что является очень важным для понимания направленности и скорости протекания изучаемых процессов и для выработки эффективных рациональных мер в сфере природопользования и охраны окружающей среды. Это позволяет получить информацию о состоянии, структуре и динамике конкретного ландшафта и его компонентах (почвы, растительности, природных водах, почвообразующих и подстилающих породах).

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Значение полевых методов в экологических исследованиях?
2. Какие основные направления полевых исследований чаще всего используют в экологии?
3. Приведите примеры полевых исследований природной экосистемы.
4. Что представляют собой маршрутные исследования? Для чего используются в экологии?
5. Для каких целей в экологии используют стационарный метод?
6. Охарактеризуйте метод ключевых участков?
7. Что такое трансекта?
8. Для каких целей используют метод эталонов?
9. Как реализуется процедура проведения исследований методом ординации?
10. Значение метода градиентного анализа для экологических исследований?

## **ГЛАВА 6. ЛАБОРАТОРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИИ**

### **6.1 Общая характеристика лабораторных методов экологических исследований**

Лабораторные методы экологических исследований позволяют более подробно изучить влияние различных факторов на исследуемый объект. В лабораторных условиях возможно максимально точно провести детальные исследования и выявить отдельные свойства, процессы, взаимосвязи и т. д.

Данный метод широко применяется в комплексе с полевыми методами исследований. Однако, все результаты, полученные в ходе лабораторного исследования, должны быть опробированы в условиях окружающей среды. Это связано с тем, что при проведении лабораторного эксперимента невозможно учесть весь комплекс факторов и точно предугадать как поведет себя изучаемый объект в естественной среде.

Суть лабораторных методов сводится к возможности изучать влияние комплекса факторов моделированной в лабораторных условиях среды на естественные или моделированные биологические системы и получать приблизительные результаты. Экологи в лабораторных исследованиях часто применяют метод моделирования, что позволяет получать интересные результаты.

В лабораторных экспериментах можно обеспечить контроль большого числа факторов, исключив воздействие неконтролируемых. Классической схемой проведения лабораторных опытов является однофакторный эксперимент, когда изучается влияние избранного фактора при зафиксированных значениях всех остальных. Однако при изучении биологических объектов (в отличие от физических) однофакторный эксперимент малоэффективен, так как поведение биосистем сложно спрогнозировать, оно зависит от комплекса факторов. Поэтому лишь

многофакторные эксперименты с предварительным планированием могут дать удовлетворительные результаты в экологии.

Меняя условия опыта, в лаборатории можно достичь заранее запрограммированного результата. Так, можно получить самые разные значения допустимых концентраций токсичных веществ в воде, если варьировать условия содержания организмов, на которых проводятся опыты. Влияние тех же веществ на те же организмы и в тех же дозах в естественных условиях водоема будет отличаться от полученных в лабораторных условиях. Поэтому в экологии лабораторные эксперименты играют вспомогательную роль.

## **6.2 Методология экологического эксперимента**

Эксперимент – это метод эмпирического исследования, включающий активное и целенаправленное вмешательство в протекание изучаемого процесса, соответствующее изменение объекта или его воспроизведение в специально созданных и контролируемых условиях.

Цель экологического эксперимента – выявление причин наблюдаемых в природе взаимосвязей. Экологический эксперимент носит аналитический характер. С помощью эксперимента ученые могут проанализировать какое воздействие на организм оказывают отпрядённые факторы в искусственно созданных условиях.

В основе любого эксперимента лежит научная идея, гипотеза или предположение. Объект в эксперименте или воспроизводится искусственно, или ставится в заданные условия, которые отвечают целям исследования. Конкретные условия эксперимента не только задаются, но и контролируются, модернизируются, многократно воспроизводятся и изменяются. В ходе эксперимента объект изучения изолируется от посторонних влияний.

Недостатком эксперимента является отсутствие возможности смоделировать все природные факторы, влияющие на объект исследования. В экологическом эксперименте можно детально изучить единичные факторы. Среди особенностей эксперимента выделяют следующие: 1) эксперимент может повторяться несколько раз; 2) некоторые свойства у объектов появляются только в экспериментальных условиях, но отсутствуют в живой природе; 3) возможность изменения и регулирования условий эксперимента.

Эксперимент включает пять последовательных стадий:

1. Гипотеза – обладает первоочередной важностью и должна быть качественной и осознанной, в ходе эксперимента правильная гипотеза очень важна иначе весь ход эксперимента будет терять смысл.

2. Планирование эксперимента – это логическая структура исследования. План включает в себя все процедуры и действия, которые будут совершаться над объектом эксперимента.

Полное описание целей эксперимента должно включать спецификацию природы используемых экспериментальных единиц, число и характер применяемых воздействий, а также свойства или отклики, которые предполагается измерять. При этом определяется число повторностей, устанавливается их физическое расположение, а также частота или временная периодичность, с которой реализуются воздействия и осуществляются измерения контролируемых факторов.

3. Реализация эксперимента – это весь комплекс процедур и операций, в отношении которых осуществлялось планирование. Успешность реализации зависит от опыта экспериментатора, его проницательности, рассудительности и технических навыков.

Непосредственной задачей исследователя является четкое и грамотное выполнение технических операций эксперимента. Это позволяет избежать систематических ошибок и минимизировать случайные ошибки. Если изучается влияние хищника, охотящегося в приливной зоне, то расположение

клеток, блокирующих хищника, не должно иметь прямого влияния на поведение экосистемы, за исключением самого хищника. Если изучается влияние питательных веществ на биомассу зоопланктона в пруду, то отбор проб должен выполняться посредством устройства, производительность которого не зависит от обилия зоопланктона.

Систематические ошибки, допущенные как в распределении воздействий, так и в процедурах измерения или отбора проб, делают эксперимент некорректным, а его выводы неубедительными.

Субъективным образом также решается вопрос о том, какова допустимая или желательная изначальная гетерогенность между экспериментальными единицами и в какой степени следует регулировать условия среды в ходе эксперимента. Эти обстоятельства влияют на величину случайных ошибок и потому – на оценку чувствительности изучаемых объектов по отношению к воздействию. Они также влияют на конкретную интерпретацию результатов, хотя сами по себе цели исследования не определяют.

4. Статистический анализ – математическая обработка данных, их систематизация, наглядное представление в виде таблиц и графиков, а также количественное описание результатов исследований с помощью системы статистических показателей.

5. Интерпретация результатов – системная процедура объяснения результатов исследования на основе теоретической модели и систематизации результатов качественного и количественного анализа исследуемого объекта.

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.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дать общую характеристику лабораторных методов экологических исследований.
2. Каким образом в лабораторных исследованиях возможно обеспечить контроль внешних факторов?
3. Почему, результаты, полученные в лабораторных условиях, должны быть опробированы в окружающей среде?
4. Дать краткое описание методологии экологического эксперимента.
5. Что такое эксперимент?
6. Чем эксперимент отличается от натурального наблюдения?
7. Что такое научная гипотеза эксперимента?
8. Перечислите основные недостатки и преимущества экологического эксперимента.
9. Какие стадии включает методология проведения экологического эксперимента?
10. Какое значение в ходе проведения эксперимента имеет статистический анализ и интерпретация результатов?
11. Приведите примеры проведения эксперимента с объектами экологических исследований.

## **Глава 7. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ**

### **7.1 Основные геофизические методы изучения экосистем**

Под системой геофизических исследований в экологии понимается комплекс взаимодействующих геофизических методов, варьирующий в зависимости от стадии работ и естественных условий. Деление всего процесса исследований на строго обозначенные стадии составляет основу системы. Основные стадии и подстадии геофизических работ выделяются с учетом действующих в РФ нормативных документов и практического опыта.

Структура и общие принципы комплексирования различных геофизических методов и их сочетание с геологическими, геохимическими и другими методами исследований едины для всех прикладных геофизических дисциплин (нефтегазовая, рудная, угольная, инженерная и др.), включая экологическую геофизику.

Основная цель проведения комплексных экогеофизических исследований – получение дополнительных к геоэкологическим и геохимическим качественных и количественных показателей с целью повышения полноты и достоверности сведений об изучаемых объектах. Это вытекает из объективных достоинств геофизических методов, которыми следует считать:

- 1) объемность получаемой информации;
- 2) возможность опосредованного изучения геоэкологических объектов, в том числе не выходящих на дневную поверхность;
- 3) объективность информации о физических полях;
- 4) относительно низкую стоимость и высокую производительность.



В экологических исследованиях чаще всего используют следующие группы геофизических методов:

- электрические – основаны на изучении естественных или искусственно созданных электромагнитных полей Земли;

- сейсмические – основаны на изучении особенностей полей упругих колебаний, искусственно созданных в горных породах;

- гравиметрические – исследуют особенности поля силы тяжести;

- магнитометрические – выявляют особенности магнитного поля Земли;

- геотермические – основаны на изучении естественного или искусственно вызванного температурного поля в Земле;

- ядерные – основаны на наблюдении за физическими явлениями, сопровождающими естественные или искусственно вызванные ядерные превращения, или за процессами взаимодействия ядерных излучений с веществом горной породы.

Если рассматривать отдельно взятые методы, то в экологии наиболее широко используются: вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, электрокаротаж, зондирование методом вызванных потенциалов, резистивиметрия (определение удельных электрических сопротивлений воды), сейсморазведка методом преломленных волн, термометрия, гамма-съемка, пенетрационный и радиометрический каротаж.

Вид исследований зависит от цели и масштаба работ. Сначала проводят аэросъемку для предварительного исследования местности. Автомобильная съемка, пешеходная, каротаж скважин и другие направлены на изучение выделенных при аэросъемке аномалий, выявления их природы и количественной оценки концентраций. Результаты съемки наносятся на топографическую основу и составляют карты в виде профилей.

## 7.2 Эффективность использования геофизических методов в экологии

Информативность геофизических методов в экологии заключается в эффективном комплексировании, оптимизации сети наблюдений и подборе современных методических приемов работ. Для решения вопроса о составе геофизического комплекса создается предварительная модель исследуемой территории, для чего анализируется фондовая информация и непосредственно в ходе исследований выполняется оперативная интерпретация данных различных методов во взаимной увязке. На этой основе производится уточнение комплекса геофизических методов и площадей обследования.

Важность геофизических методов при экологических исследованиях обоснована возможностью их использования на застроенных гражданскими и техническими объектами территориях, где применение типовых методов или затруднено, или невозможно. Этот факт заставляет исследователей искать нетрадиционные способы решения поставленных задач. В каждом конкретном случае создается необходимость своего рода ревизии имеющихся в распоряжении исполнителей технических средств, и только после этого намечаются пути выбора тех или иных геофизических методов на предмет усовершенствования и возможностей использования как автономно, так и в комплексе, соответственно, при возможно допустимых материальных затратах.

Разрабатываемые и создаваемые комплексы геофизических исследований на тех или иных геоэкологических объектах представляют собой стройную иерархическую систему, созданную на основе многолетней практики проведения геологоразведочных и геоэкологических наблюдений.

Современная геофизическая аппаратура обладает очень высокой точностью измерений, благодаря чему обеспечивает возможность выявить и проследить даже слабые изменения полей, соответствующие небольшим отклонениям от нормы

некоторых свойств изучаемых объектов. Благодаря большому разнообразию методов, методик и модификаций, соответствующей оснащённости современной аппаратурой и широкому спектру применения геофизические методы позволяют решать многочисленные задачи на суше, в горных выработках, с самолетов и на кораблях.

Электроразведочные методы эффективно используются при изучении загрязнения подземных вод, картировании фильтрационных потоков на больших глубинах, при оценке устойчивости зданий и сооружений в криолитозоне. Электроразведка позволяет определить распределение слоев по разрезу профиля, изучить быстротекущие процессы (изменение минерализации воды, температуры, режима водообмена).

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.

Сейсмоакустические методы хорошо зарекомендовали себя при изучении геокриологических условий и картировании подземных льдов. С их помощью возможно установить геометрию донных отложений, карстово-суффозионные процессы и новейшие тектонические движения. С помощью сейсмического профилирования проводится изучение геологических разрезов и древних тектонических нарушений.

Гравиметрические методы успешно используют для локализации мест проявления карстовых процессов, а также для прослеживания активных разрывных нарушений.

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 кон-

троля может быть дополнена регистрацией электрических, магнитных и электромагнитных полей Земли и атмосферы.

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

В результате возрастающего техногенного воздействия на природу остро стоит проблема наведенной сейсмичности. Она 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 виброочувствительна, то есть чувствительна не только к сжатию и деформациям, но и к колебательным воздействиям. Исследования этих процессов уже более 20 лет развиваются в отделе экспериментальной геофизики, ставшем основой нового Института экспериментальной геофизики, организованного в рамках Объединенного института физики Земли РАН. Исследуется влияние естественных (землетрясения, приливные волны, микросейсм) 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 чело-

века 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 г., специалисты-геофизики концерна «Геологоразведка» с помощью высокочувствительной аппаратуры и отработанных при поисках урана методик стали решать радиэкологические задачи. В комплекс радиэкологических работ вошли аэро- и автогаммаспектрометрическая 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 автотомографической 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 и задания для самоконтроля**

1. Основная цель использования геофизических методов при проведении экологических исследований?

2. Приведите основные достоинства методов геофизических исследований.

3. Какие группы геофизических методов чаще всего используют в экологии?

4. В чем заключается информативность геофизических методов?

5. Приведите примеры эффективного использования сейсмических методов в экологии?

6. Основная задача геофизического контроля?

7. Какая существует опасность радиоактивного загрязнения окружающей среды? Приведите примеры.

## **ГЛАВА 8. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ**

### **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 эле-

ментов (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:

- 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, неиспытывающих 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 определяет общую структуру загрязнения территории и его важ-

нейшие 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, что позволяет выявить все основные очаги загрязнения. Результаты исследований рекогносцировочного этапа позволяют составить геохимическую схему территории, 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; проследивание потоков распространения химических элементов в окружающей среде; 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 – 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 санитарногигиенической службы и служб контроля за состоянием среды, и работы проводятся 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; исследование биогеохимических показателей населения и оценку состояния его здоровья; расширенное изучение комплекса химических элементов и определение объемов загрязненных почв и грунтов. В сельскохозяйственных районах детальные исследования ореолов рассеяния заключаются в уточ-

нении количества химических элементов и в установлении доли подвижных, усвояемых растениями форм токсичных форм 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.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Цель геохимических методов исследования?
2. Задачи геохимических методов исследования?
3. Для каких целей в экологии используют геохимические методы?
4. Опишите методологию геохимических методов исследования.
5. На какие основные группы делятся методы геохимических исследований?
6. Что такое геохимическое картирование? Его значение.
7. Охарактеризуйте основные этапы проведения геохимических исследований.
8. Для чего составляется кадастр потенциальных источников геохимического загрязнения?
9. Какие показатели качества окружающей среды возможно определять с помощью методов геохимических исследований?

## ГЛАВА 9. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 9.1 Дистанционные методы исследований, их сущность и разновидности

Дистанционные (аэрокосмические) методы – это группа методов наблюдения с использованием фото- и видеотехники с летательных, воздушных и космических аппаратов. Они подразделяются на группу аэрометодов и группу космических методов.

Аэрометоды и космические методы за сравнительно короткий срок внесли важный вклад в изучение поверхности Земли, ее природных ресурсов, а также процессов, происходящих в биосфере. 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 настоящее время ведущее место занимают космическая фотосъемка, спектрометрические и радиометрические исследования. Космическая съемка имеет большое количество преимуществ перед другими методами:

- большой охват обзора территории (до 500 км);
- высокая скорость получения информации;
- возможность многократной съемки изучаемых объектов и территорий, что позволяет анализировать динамику явлений и процессов (площадь озоновой дыры, опустынивание, пожары).

В последнее время большее значение приобретают исследования, связанные с влиянием техногенных процессов на природные и природно-техногенные системы, а природных процессов – на территории, освоенные человеком.

Из существующих средств аэрокосмического зондирования наиболее эффективными для экологии 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 на 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.



## **9.2 Использование дистанционных методов для изучения экологического состояния и антропогенных изменений окружающей среды**

На современном этапе развития общества и природы важное место при проведении экологических исследований занимает метод дистанционного зондирования Земли. Дистанционное зондирование – это огромное разнообразие методов получения изображений практически во всех диапазонах длин волн электромагнитного спектра от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного и радиодиапазона.

Преимуществами дистанционного зондирования являются:

- различная обзорность изображений – от снимков с метеорологических геостационарных спутников, охватывающих практически целое полушарие, до детальных съемок участка в несколько сотен квадратных метров;

- получение информации о земной поверхности (включая расположенные на ней объекты) без непосредственного контакта с ней, путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения.

Методы дистанционного зондирования основаны на том, что любой объект излучает и отражает электромагнитную энергию в соответствии с особенностями его природы. Различия в длинах волн и интенсивности излучения могут быть использованы для познания свойств удаленного объекта без непосредственного контакта с ним.

Развитие и совершенствование методов дистанционных исследований окружающей среды проходило в несколько этапов:

1. В Древнем Риме существовали изображения различных географических объектов в виде планов на стенах зданий.

2. В XVIII в. размеры и пространственное положение предметов определяли по их рисованным изображениям в центральной проекции, которые получали с помощью камеры-

обскуры с возвышенных мест и судов. Исследователи создавали снимки-рисунки, графически фиксируя оптическое изображение. При этом уже при съемке производился отбор и обобщение деталей объекта.

3. Следующими этапами в развитии дистанционных методов стали открытие фотографии, изготовление фотообъектива и изобретение стереоскопа. Фотографическая регистрация оптического изображения позволила получать практически моментальные снимки, которые отличались объективностью, детальностью и точностью. Фотографии местности, сделанные с высоты птичьего полета с воздушных шаров и воздушных змеев, сразу же получили высокую картографическую оценку. Для различных военных и гражданских целей использовались снимки с привязных аэростатов и аэропланов. Первые самолетные съемки совершили революцию в дистанционном зондировании, но они не позволяли получать необходимые мелкомасштабные изображения. Однако в 1920–1930-е гг. фото-съемка местности с самолетов широко применялась для создания лесных, топографических, геологических карт, для изыскательских работ.

4. Следующим этапом (с 1945 г. до конца 1950-х гг.) стало использование баллистических ракет для изучения растительности, типов использования земель, для нужд гидрометеорологии и геологии и при исследованиях природной среды.

Началом систематического обзора поверхности Земли из космоса можно считать запуск 1 апреля 1960 г. американского метеорологического спутника Tiros-1 (Television and Infrared Observation Satellite). Первый отечественный спутник аналогичного назначения, «Космос-122», был выведен на орбиту 25 июня 1966 г. Работа спутников серии «Космос» («Космос-144» и «Космос-156») позволила создать метеорологическую систему, впоследствии разросшуюся в специальную службу погоды (система «Метеор»). Со второй половины 1970-х гг. космические съемки стали проводиться в массовом порядке с автоматических спутников. Первым спутником, нацеленным на

исследование природных ресурсов Земли, стал американский космический аппарат (КА) ERTS (Earth Resources Technological Satellite), впоследствии переименованный в Landsat, дававший снимки с пространственным разрешением 50–100 м.

Широкие перспективы открылись перед дистанционным зондированием с развитием компьютерных технологий, переносом всех основных операций по обработке и использованию данных съемок на компьютеры, особенно в связи с появлением и широким распространением географических информационных систем (ГИС).

Так, например, с помощью ГИС специалисты могут оперативно спрогнозировать возможные места разрывов трубопроводов, проследить на карте пути распространения загрязнений и оценить вероятный ущерб для природной среды, вычислить объем средств, необходимых для устранения последствий аварии. С помощью ГИС можно отобразить промышленные предприятия, осуществляющие выбросы вредных веществ, отобразить розу ветров и уровень залегания грунтовых вод в окружающей их местности и смоделировать распространение выбросов в окружающей среде.

ГИС с успехом используется для создания карт основных параметров окружающей среды. В дальнейшем, при получении новых данных, эти карты используются для выявления масштабов и темпов деградации флоры и фауны. При вводе данных дистанционных, в частности спутниковых, и обычных полевых наблюдений с их помощью можно осуществлять мониторинг местных и широкомасштабных антропогенных воздействий. Данные об антропогенных нагрузках целесообразно наложить на карты зонирования территории с выделенными областями, представляющими особый интерес с природоохранной точки зрения, например, парками, заповедниками и заказниками. Оценку состояния и темпов деградации природной среды можно проводить и по выделенным на всех слоях карты тестовым участкам.

С помощью ГИС удобно моделировать влияние и распространение загрязнения от точечных и пространственных источников на местности, в атмосфере и по гидрологической сети. Результаты модельных расчетов можно наложить на природные карты, например, карты растительности, или же на карты жилых массивов в данном районе. В результате можно оперативно оценить ближайшие и будущие последствия таких экстремальных ситуаций, как разлив нефти и других вредных веществ, а также влияние постоянно действующих точечных и площадных загрязнителей.

Еще одна распространенная сфера применения ГИС – сбор и управление данными по охраняемым территориям, таким как заказники, заповедники и национальные парки. В пределах охраняемых районов можно проводить полноценный пространственный мониторинг растительных сообществ ценных и редких видов животных, определять влияние антропогенных вмешательств, таких как туризм, прокладка дорог или ЛЭП, планировать и доводить до реализации природоохранные мероприятия. Возможно выполнение и многопользовательских задач, таких как регулирование выпаса скота и прогнозирование продуктивности земельных угодий.

Полезным и зачастую необходимым бывает сравнение текущих границ участков землепользования с зонированием земель и перспективными планами их использования. ГИС обеспечивает также возможность сопоставления границ землепользования с требованиями дикой природы. Например, в ряде случаев бывает необходимым зарезервировать коридоры миграции диких животных через освоенные территории между заповедниками или национальными парками. Постоянный сбор и обновление данных о границах землепользования может оказать большую помощь при разработке природоохранных, в том числе административных и законодательных мер, отслеживать их исполнение, своевременно вносить изменения и дополнения в имеющиеся законы и постановления на основе базовых научных экологических принципов и концепций.

ГИС является эффективным средством для изучения среды обитания в целом, отдельных видов растительного и животного мира в пространственном и временном аспектах. Если установлены конкретные параметры окружающей среды, необходимые, например, для существования какого-либо вида животных, включая наличие пастбищ и мест для размножения, соответствующие типы и запасы кормовых ресурсов, источники воды, требования к чистоте природной среды, то ГИС поможет быстро подыскать районы с подходящей комбинацией параметров, в пределах которых условия существования или восстановления численности данного вида будут близки к оптимальным.

Важным элементом дистанционных исследований является снимок – это основной продукт космического мониторинга, то есть двумерное изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения и предназначенное для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования.

Космические снимки можно использовать в решении разных практических задач, но, как правило, в сочетании с фондовыми картографическими и таксационными данными, выборочными аэрофотосъемками, наземными работами, а также с учетом косвенных признаков дешифрирования и разновременных космических изображений. Во всех случаях применение космических снимков сокращает затраты труда и средств на выполнение тех или иных работ и ускоряет сроки их выполнения.

Космические снимки имеют большую познавательную ценность, усиленную их особыми свойствами, такими как большая обзорность, генерализованность изображения, комплексное отображение всех компонентов геосферы, регулярная повторяемость через определенные интервалы времени, оперативность поступления информации, возможность ее по-

лучения для объектов, недоступных изучению другими средствами.

Для получения данных могут использоваться разные космические аппараты – ракеты, пилотируемые космические корабли и орбитальные станции, автоматические искусственные спутники Земли и другие космические аппараты. Обычно используются два основных типа спутников: геостационарные и полярно-орбитальные.

Дистанционные методы исследований используются для изучения различных территорий. Например, лесные экосистемы относятся к тем объектам природной среды, которые наилучшим образом поддаются изучению, картографированию и мониторингу. Многолетними исследованиями организаций, специализирующихся на аэрокосмических методах изучения лесов, разработаны методы использования аэрокосмической информации для лесохозяйственной отрасли и пути применения современных материалов дистанционного зондирования для регионального и глобального оперативного картографирования лесной растительности и мониторинга лесов. Оценка достоверности распознавания классов природных объектов на территориях нескольких национальных парков при автоматизированном дешифрировании снимков показала ее высокий уровень при использовании алгоритма максимального правдоподобия.

Важное место дистанционные методы занимают при изучении и оценке состояния природных и природно-антропогенных экосистем особо охраняемых природных территорий (ООПТ). При мониторинге ООПТ различного уровня (регионального, субрегионального и локального) первостепенное значение имеет пространственное разрешение, с которым была получена информация. Размеры ООПТ различаются от нескольких сот гектаров (некоторые участки кластеров степных заповедников, заказников и памятников природы) и тысяч гектаров (небольшие участки лесных и горных заповедников, национальных парков и заказников) до сотен тысяч и миллио-

нов гектаров (арктические, тундровые и таежные заповедники и национальные парки).

В настоящее время задачи оперативного спутникового контроля природных ресурсов, исследования динамики протекания природных процессов и явлений, анализа причин, прогнозирования возможных последствий и выбора способов предупреждения чрезвычайных ситуаций считаются неотъемлемым атрибутом методологии сбора информации о состоянии интересующей территории (страны, края, города), необходимой для принятия правильных и своевременных управленческих решений. Особая роль отводится спутниковой информации в ГИС, где результаты дистанционного зондирования поверхности Земли из космоса служат регулярно обновляемым источником данных, необходимых для формирования природоресурсных кадастров и других приложений, охватывая весьма широкий спектр масштабов.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие виды методов дистанционного исследования существуют в современной науке?
2. Какое практическое значение имеют методы дистанционных исследований?
3. Для каких целей в науке используются дистанционные методы?
4. Какие основные параметры характеризуют методы дистанционного зондирования?
5. Насколько эффективно использование дистанционных методов для целей экологических исследований?
6. В чем отличие аэро- и космических методов?
7. Приведите примеры использования современных дистанционных методов исследования в экологии.

## ГЛАВА 10. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОБОБЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

### 10.1 Статистические методы обработки экологической информации

Наиболее распространенными и удобными для обработки экологической информации являются методы математической статистики. Применение методов статистической обработки данных помогает получать пригодные для сравнения количественные характеристики распределения организмов, установить зависимость между отдельными переменными, характеризующими среду обитания, выявлять общие тенденции развития изучаемых процессов, определять цикличность колебаний изучаемых величин, корреляцию временных рядов, прогнозировать последующие изменения показателей исследуемого процесса.

Из различных разделов современной математики в экологии наиболее широко используются такие методы математической статистики как: вычисление средних квадратических отклонений, дисперсии, коэффициентов вариации, оценка согласия распределений с помощью критериев Пирсона, расчеты прямолинейной и нелинейной корреляции, корреляционных отношений, различных видов регрессий, анализ временных рядов, дисперсионный и дискриминантный анализ, 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 непесекающиеся подмножества: метод потенциальных функций, метод гиперплоскостей, метод гиперсфер и др.



Важная особенность статистических методов состоит в их опосредствованном использовании для эмпирического изучения объектов. Они применяются лишь в виде моделей, то есть в определенных формализованных абстракциях. Математические модели способны хорошо отражать структуру, взаимосвязи и динамику наблюдаемых явлений, но необходимо следить за их соответствием свойствам моделируемой действительности.

Статистические 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. Абстрактность математической модели проявляется даже в характеристике конкретных свойств: в любой формуле указываются лишь величины тех или иных показателей, но не раскрывается их, содержание.

Математические модели подразделяются на аналитические (оператор известен в аналитической форме) и 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 культива-

торах, 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.

## **10.2 Картографические методы обработки информации**

Под картографированием понимается процесс составления карты определенного содержания и масштаба в камеральных условиях путем генерализации карт любых съемочных масштабов, полученных в результате картирования.

Картирование – это организация и проведение специальных исследований, включающих полевые наблюдения, лабораторно-аналитические работы и камеральную обработку данных, с целью составления карты соответствующего содержания и масштаба. Как правило, масштаб карты определяет масштаб сети наблюдений, при которой полученные данные считаются достоверными, а содержание карты определяет комплекс методов исследований.

Картографирование позволяет оперативно использовать аэрокосмическую информацию, обычно многоцелевого назначения. Аэрокосмические съемки дают дополнительное преимущество при региональных исследованиях, а также при изучении динамично развивающихся процессов в случае повторных съемок тех же объектов. Поэтому для решения геоэкологических задач наиболее рационально в первую очередь уделять внимание возможностям картографирования. Генерализация данных в этом случае имеет специфический характер и представляет, по существу, экологическую интерпретацию полученной информации.

Когда же возможности картографирования исчерпаны, вытекает необходимость в выполнении полевых исследований по дополнительному изучению и детализации данных по объекту. Специальные полевые геоэкологические исследования необходимы, когда экологические нарушения (объекты и источники загрязнения и т. п.) могут быть установлены только наземными или подземными видами работ (геохимические и геофизические съемки, бурение и др.).

Основным принципом экологического картографирования является принцип целевой направленности карт. Экологическая карта не может быть просто фактографической, хотя бы в силу неохватности разновеликих и разно направленных в экологическом отношении факторов.

Кроме того, нельзя следовать требованиям генерализации фактических данных без четко сформулированной цели построения карты в целом. Необходимо также соблюдать соразмерность выделенных на карте объектов (целевых и ситуационных) с масштабом карты и, соответственно, цели с масштабом карты. Наименование карты должно отражать цель исследования.

Методика картографирования заключается в экологической интерпретации геологических карт и выявлении на этой основе наиболее значимых геоэкологических факторов и их представление в специально разработанной знаковой системе (легенде). Например, при выделении территорий, слагаемых породами разной восприимчивости к техногенным нагрузкам, выделяют сильно восприимчивые (карстообразующие известняки и т. п.), слабо восприимчивые (глины и т. п.), относительно устойчивые (изверженные породы и т. п.). Используется их цветовое отображение: красный – территории, подверженные воздействию эндогенных геологических процессов; желтый – территории, подверженные воздействию экзогенных геологических процессов, зеленый – площади минеральных концентраций.

При картовании месторождений, они рассматриваются с точки зрения возможности быть эпицентром техногенного очага со всеми вытекающими последствиями. Особенно это значимо для многих рудных месторождений, которые являются природными концентраторами токсичных химических элементов. Поэтому, для вынесения рудных месторождений на карту в виде символов, к ним предъявляется требование отражать свойства месторождений и добываемых из них руд, которые выступают как наиболее значимые экологические факторы.

Применительно к экологическому картографированию следует отметить, что оно требует изображения многоярусного и многокомпонентного пространства геосфер и связанных с ними процессов.

Простое картографическое решение такой задачи невозможно. Данное положение ставит разработчиков перед необходимостью составления отдельных тематических и специальных геоэкологических карт для различных комплексов и компонентов геосфер Земли, образующих в совокупности единую модель с существующими в них внутренними связями между отдельными компонентами и их группами.

Помимо традиционного подхода к принципу картографирования, в настоящее время отечественный и зарубежный опыт использования современной техники и соответственно методов картографирования, позволяет выполнять построение геоэкологических карт на качественно новом уровне.

Формирование цифровых баз и банков данных, создаваемых с целью тематического картографирования, а также внедрение в картографическое производство средств автоматизации в виде программно-технических инструментальных комплексов, автоматизированных рабочих мест картографов-редакторов создают условия для внедрения автоматизации в сфере тематического картографирования.

### 10.3 Графические методы представления экологической информации

Графический метод – это метод условных изображений статистических данных при помощи геометрических фигур, линий, точек и разнообразных символических образов.

Статистический график – это чертеж, на котором статистические совокупности, характеризуемые определенными показателями, описываются с помощью условных геометрических образов или знаков. Правильно построенный график может служить мощным инструментом, как для иллюстрации материала, так и для формирования предварительных гипотез и обоснования выводов.

Метод графического представления статистических данных имеет ряд преимуществ:

- графики имеют наглядность и объемность количественных данных;
- с помощью графика удобно анализировать результаты статистического наблюдения;
- графические изображения помогают правильно истолковать результаты статистического анализа;
- значительно облегчает понимание статистического материала.

При построении графического изображения следует соблюдать ряд требований. Прежде всего график должен быть достаточно наглядным, так как весь смысл графического изображения как метода анализа состоит в том, чтобы наглядно изобразить статистические показатели. Кроме того, график должен быть выразительным, доходчивым и понятным. Для выполнения вышеперечисленных требований каждый график должен включать ряд основных элементов: графический образ; поле графика; пространственные ориентиры; масштабные ориентиры; экспликацию графика.

Графический образ (основа графика) – это геометрические знаки, т. е. совокупность точек, линий, фигур, с помощью

которых изображаются статистические показатели. Важно правильно выбрать графический образ, который должен соответствовать цели графика и способствовать наибольшей выразительности изображаемых статистических данных. Графическими являются лишь те образы, в которых свойства геометрических знаков (фигура, размер линий, расположение частей) имеют существенное значение для выражения содержания изображаемых статистических величин, причем каждому изменению выражаемого содержания соответствует изменение графического образа.

Поле графика – это часть плоскости, где расположены графические образы. Поле графика имеет определенные размеры, которые зависят от его назначения.

Пространственные ориентиры графика задаются в виде системы координатных сеток. Система координат необходима для размещения геометрических знаков в поле графика. Наиболее распространенной является система прямоугольных координат. Для построения статистических графиков используется обычно только первый и изредка первый и четвертый квадраты. В практике графического изображения применяются также полярные координаты. Они необходимы для наглядного изображения циклического движения во времени. В радиальных графиках лучи обозначают моменты времени, а окружности – величины изучаемого явления.

На статистических картах пространственные ориентиры задаются контурной сеткой (контуры рек, береговая линия морей и океанов) и определяют те территории, к которым относятся статистические величины. Масштабные ориентиры статистического графика определяются масштабом и системой масштабных шкал. Масштаб статистического графика – это мера перевода числовой величины в графическую.

Масштабной шкалой называется линия, отдельные точки которой могут быть прочитаны как определенные числа. По правилам числовое значение необходимо помещать строго против соответствующих точек, а не между ними. Носитель

шкалы может представлять собой как прямую, так и кривую линии. Поэтому различают шкалы прямолинейные (например, миллиметровая линейка) и криволинейные – дуговые и круговые (циферблат часов). Графические и числовые интервалы бывают равными и неравными.

Экспликация – словестное описание содержания графика. Оно включает в себя название графика, которое в краткой форме передает его содержание, подписи вдоль масштабных шкал и пояснения к отдельным частям графика.

Наиболее широкое распространение получили двумерные графики, в том числе с добавочной осью ординат, поскольку с них удобнее считывать информацию. Из семейства двумерных графиков наиболее известны точечные диаграммы рассеяния, линейные графики и столбчатые гистограммы.

Точечные диаграммы рассеяния строят, когда на графике необходимо сохранить информацию о каждом варианте анализируемой группы данных. В частности, по ним можно установить, существует ли между определенными признаками зависимость или они не связаны друг с другом. Кроме того, точечные диаграммы позволяют быстро определить, перекрывается ли один и тот же признак у представителей разных выборок.

Гистограмма представляет собой графическое отображение вариационного ряда. На гистограмме по оси абсцисс откладываются границы классовых интервалов, а по оси ординат – частоты. Основное назначение гистограмм – выявление соответствия частот полученного в ходе исследования выборки вариационного ряда нормальному распределению.

Составные столбиковые диаграммы применяются для отображения данных, которые предполагают сравнение нескольких параметров (относящихся к одному целому) двух и более объектов. Например, при сравнении доли участия каких-либо видов в составе сообществ в разных условиях.

Круговые секторные диаграммы также служат для отображения доли участия компонентов в составе целого. Количество сегментов обычно выбирается таким, чтобы каждый сег-

мент был хорошо виден и подписан. Мелкие сегменты объединяются в один и называются «другие». Для отображения разницы в совокупности признаков в разное время или в разных местообитаниях используют составные круговые диаграммы.

Пиктографики служат для наглядного представления разницы между несколькими объектами, характеризующимися одинаковым набором параметров. Например, при характеристике местообитаний растений по ряду экологических параметров (влажность, освещенность, трофность и т. д.).

Картограмма показывает территориальное распределение изучаемого признака по отдельным районам и используется для выявления закономерностей этого распределения. Картограммы бывают фоновые и точечные. Они позволяют отразить специфику каждого района в распределении изучаемого явления, его структурные особенности.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие статистические методы используют для обработки экологической информации?
2. Перечислить основные современные приемы анализа и систематизации картографического материала.
3. В чем суть эколого-географического картографирования?
4. Какие приемы и способы используют для построения экологических карт?
5. Как осуществляется процедура историко-генетического анализа экологической информации?
6. Дать понятие определениям графический образ и экспликация.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологические исследования, проведенные в последние десятилетия во многих странах мира, показали, что все возрастающее разрушительное воздействие антропогенных факторов на окружающую среду ведет к необратимым последствиям.

Естественно, что многие экологические и социально-экономические аспекты природопользования находятся за пределами возможностей исследований и описаний, имеют неопределенности из-за недостаточности представлений, изученности и информации. Важно в существующей ситуации не откладывать природоохранные мероприятия при угрозе ущерба природе от экологической деградации.

На современном этапе развития биосферы и ее переходе в ноосферу особо важными становятся проблемы изучения состояния окружающей среды. Природные процессы все теснее переплетаются с антропогенными. Практически они проявляются во все более усиливающемся обмене веществом и энергией в возрастающих потоках передачи информации.

История человечества – это постоянно растущие потребности в природных ресурсах, замена истощающихся на новые и еще более интенсивная их эксплуатация. Дальнейшее развитие общества требует обязательного и полного учета экологических условий и оценки природных ресурсов. Влияние социальной системы на биосферу все чаще приводит к нарушению экологических условий, ухудшению качества окружающей среды.

Разобранные в пособии материалы имеют важное значение для обучающихся по биологическим направлениям. Своевременное и грамотное использование методов экологических исследований для изучения компонентов природной среды ведет к пониманию характера протекающих в биосфере процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросова Н. К. Геолого-экологические исследования и картографирование : учеб. пособие / Н. К. Андросова. – М. : Изд-во РУДН, 2000. – 98 с.
2. Артаев О. Н. Методы полевых экологических исследований : учеб. пособие / О. Н. Артаев, Д. И. Башмаков, О. В. Безина [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 412 с.
3. Белюченко И. С. Биомониторинг состояния окружающей среды : учеб. пособие / И. С. Белюченко, Е. В. Федоненко, А. В. Смагин. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 153 с.
4. Бескид П. П. Геоинформационные системы и технологии / П. П. Бескид, Н. И. Куракина, Н. В. Орлова. – СПб. : Рос. гос. гидромет. ун-т, 2010. – 173 с.
5. Гусакова Н. Н. Методы исследований в экологии : краткий курс лекций / Н. Н. Гусакова, Ю. М. Мохонько. – Саратов, 2005. – 134 с.
6. Жуковский О. И. Геоинформационные системы : учеб. пособие / О. И. Жуковский. – Томск : Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2014. – 130 с.
7. Иванов Е. С. Методы экологических исследований : практикум / Е. С. Иванов, Н. В. Авдеева, Т. В. Кременецкая, Г. В. Золотов. – Рязань : Рязан. гос. ун-т имени С. А. Есенина, 2011. – 404 с.
8. Котиков Ю. Г. Геоинформационные системы : учеб. пособие / Ю. Г. Котиков. – СПб. : С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т, ЭБС АСВ, 2016. – 224 с.
9. Кузнецов А. Е. Прикладная экобиотехнология. Т. 2 : учеб. пособие / А. Е. Кузнецов [и др.]. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 490 с.
10. Попов С. Ю. Геоинформационные системы и пространственный анализ данных в науках о лесе / С. Ю. Попов. – СПб. : Интермедия, 2013. – 400 с.

11. Рязанова Н. Е. Методы экологических исследований : учебник / Н. Е. Рязанова, В. Ю. Занин, Ю. Н. Бурвикова [и др.] – М. : ИНФРА-М, 2019. – 474 с.
12. Семенченко В. П. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. – Минск : Белорусская наука, 2011. – 329 с.
13. Семиколенных А. А. Оценка воздействия на окружающую среду объектов атомной энергетики / А. А. Семиколенных, Ю. Г. Жаркова. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 368 с.
14. Стадницкий Г. В. Экология : учебник для вузов / Г. В. Стадницкий. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2014. – 296 с.
15. Трубина О. А. Основы компьютерной обработки данных в экологии : практикум / Л. К. Трубина, О. А. Беленко, Б. В. Селезнев, С. М. Горбенко. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 158 с.
16. Федорук А. Т. Экология : учеб. пособие / А. Т. Федорук. – Минск : Вышэйшая школа, 2013. – 462 с.
17. Чеснокова С. М. Практикум по экологическому мониторингу / С. М. Чеснокова, Е. П. Гришина. – Владимир : Владим. гос. ун-т., 2004. – 144 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	5
1.1 Экосистема как объект экологических исследований.....	5
1.2 Иерархические уровни объектов экологических исследований.....	6
1.3 Принцип выделения границ экологических исследований.....	8
1.4 Этапы экологических исследований.....	9
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	16
2.1 Системный подход как направление исследований.....	16
2.2 Методологические подходы в экологических исследованиях.....	18
ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	21
3.1 Представление об экологической информации..	21
3.2 Критерии качества экологической информации.....	22
ГЛАВА 4. ПОНЯТИЕ О МЕТОДАХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	24
4.1 Многообразие методов экологических исследований.....	24
4.2 Комплексный экологический мониторинг как один из главных методов изучения динамики экосистем.....	28
ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	32
5.1 Общие принципы полевых исследований в экологии.....	32

5.2	Разнообразие полевых методов экологических исследований.....	34
ГЛАВА 6.	ЛАБОРАТОРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИИ.....	43
6.1	Общая характеристика лабораторных методов экологических исследований.....	43
6.2	Методология экологического эксперимента...	44
ГЛАВА 7.	ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ.....	48
7.1	Основные геофизические методы изучения экосистем.....	48
7.2	Эффективность использования геофизических методов в экологии.....	50
ГЛАВА 8.	ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	55
8.1.	Цель и задачи геохимических методов исследования экосистем.....	55
8.2	Основные группы геохимических методов исследования.....	56
8.3	Этапы проведения геохимических методов исследования экосистем.....	58
ГЛАВА 9.	ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	63
9.1	Дистанционные методы исследований, их сущность и разновидности.....	63
9.2	Использование дистанционных методов для изучения экологического состояния и антропогенных изменений окружающей среды.....	65
ГЛАВА 10.	СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОБОБЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	72
10.1	Статистические методы обработки экологической информации.....	72

10.2 Картографические методы обработки информации.....	74
10.3 Графические методы представления экологической информации.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

Учебное издание

**Никифоренко** Юлия Юрьевна,  
**Мельник** Ольга Александровна

## **МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Учебное пособие*

В авторской редакции  
Макет обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 21.02.2022. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. – 5,1. Уч. изд. л. – 4,0.  
Тираж 500 экз. Заказ № 59 – 60 экз.

Типография Кубанского государственного  
аграрного университета.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13