

# **Лекция 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ 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 азональным признакам, обладающая единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий, почв, биоценозов, с характерным набором простых геокомплексов. С экологической точки зрения, ландшафт имеет средообразующую и ресурсовоспроизводящую функции.

4. Биом – это крупный тип биogeоценозов, 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. Биogeографическая область – крупное по площади флористическо-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 биоценологических 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 экоценологических 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. Теоретически 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 опробированными 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 занимающиеся 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 калибровку, 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 состояются 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.

## **1.5 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.

## **1.6 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 состава сообществ, среды и места их обитания. Основное внимание при этом подходе уделяется изучению потока энергии и циклам круговорота веществ в экосистемах, установлению функциональных связей между биологической составляющей и окружающей средой, т.е. между биотическими факторами и абиотическими.

Экосистемный подход предусматривает всестороннее изучение всех популяций живых организмов сообщества (растения, микроорганизмы, животные) с учетом влияния на них ограничивающих факторов (эдафические, топографические, климатические). При этом подходе пристальное внимание уделяется анализу местообитаний, так как параметры факторов среды: физико-химические свойства почв, теплообеспеченность, влажность, освещенность, скорость ветра, и др., легко измеряются и поддаются классификации. В качестве примера успешности экосистемного подхода к изучению биосферы можно привести итоги работы ученых из разных стран, работавших с 1964 по 1980 гг. по Международной биологической программе (МБП). Конечной целью МБП было выявление запасов и законов воспроизводства органического вещества, его качественного (фракционного) состава по всем природным зонам и в целом на планете, 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.