ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ КОЛЛЕДЖ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

ЛЕКЦИЯ 6. ТЕМА 6. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

1. Экология как наука

Термин «экология» введён в 1866 г. немецким биологом Э. Геккелем и образован от греческих слов *oikos* — жилище, местопребывание и *logos* — наука. В современном понимании экология — это наука о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей их средой, а также о структуре и функционировании надорганизменных систем — популяций, сообществ и экосистем.

Как биологическая дисциплина экология оперирует иерархией уровней организации живого: организм — популяция — биоценоз — экосистема — биосфера. В XX в. экология приобрела междисциплинарный характер, включив разделы геофизики, химии, экономики и социологии, что обусловлено необходимостью решения прикладных задач охраны природы и рационального природопользования.

2. Экологические факторы и их значение

Элементы среды, способные оказывать прямое или косвенное влияние на организмы хотя бы на одной из стадий их индивидуального развития, называются экологическими факторами. Принято выделять три группы:

• **Абиотические факторы** — физико-химические свойства неживой природы: температура, свет, влажность, давление, солевой состав среды, течение, рельеф. Значение каждого фактора ограничено диапазоном выносливости вида. Согласно закону минимума Ю. Либиха, рост и развитие организма лимитируется фактором, находящимся в минимуме; закон толерантности В. Шелфорда устанавливает, что существование вида ограничено не только недостатком, но и избытком любого фактора. Факторы, наиболее отклоняющиеся от оптимума, называются лимитирующими.

• **Биотические факторы** — совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие (хищничество, паразитизм, конкуренция, симбиоз, опосредованные влияния через изменение среды).

• **Антропогенные факторы** — все формы деятельности человека, изменяющие природную среду (промышленные выбросы, распашка земель, интродукция видов, загрязнение).

Факторы подразделяются также на периодические (закономерно меняющиеся: суточные и сезонные ритмы, приливы) и непериодические (стихийные явления, хозяйственная деятельность). Реакция организмов на изменение факторов формируется в ходе длительного естественного отбора и выражается в экологических адаптациях.

3. Экосистемы: понятие, видовая и пространственная структура

Экосистема — это функциональное единство живых организмов (биоценоза) и среды их обитания (биотопа), связанное потоками вещества и энергии. Термин введён А. Тенсли (1935); эквивалентное понятие «биогеоценоз» разработано В. Н. Сукачёвым (1942).

Видовая (биологическая) структура экосистемы характеризуется:

• видовым разнообразием — числом видов (богатством) и соотношением их обилия;

• доминантами — видами, преобладающими по численности или биомассе;

• эдификаторами — видами, определяющими условия существования сообщества (в лесу — древесные породы);

• редкими и исчезающими видами, играющими значимую роль в поддержании устойчивости.

Чем выше видовое разнообразие, тем устойчивее экосистема к внешним воздействиям, поскольку продукты пищи и энергии используются более полно, а разрушение одного звена компенсируется другими.

Пространственная структура выражается в закономерном размещении организмов:

• **ярусность** — вертикальное расчленение фитоценоза (в широколиственном лесу: древесный, кустарниковый, травянистый, напочвенный ярусы), что обеспечивает более полное использование света и пространства;

• **мозаичность** — горизонтальная неоднородность сообщества, обусловленная микрорельефом, почвенными условиями, влиянием отдельных растений;

• **синузии** — пространственно обособленные части фитоценоза, образованные видами одной жизненной формы.

В каждом биоценозе реализуется принцип экологического дублирования: виды одной трофической группы выполняют сходные функции, что обеспечивает устойчивость системы.

4. Пищевые связи, круговорот веществ и превращение энергии

Трофическая структура экосистемы основана на разделении организмов по способу питания:

• **продуценты** — автотрофные организмы (растения, цианобактерии, хемосинтетики), синтезирующие органическое вещество из неорганического;

• **консументы** — гетеротрофы первого (фитофаги) и последующих (хищники) порядков;

• **редуценты** — сапротрофные организмы (бактерии, грибы), разлагающие органические остатки до неорганических соединений.

Цепи питания подразделяются на пастбищные (выедание) и детритные (разложение мёртвого органического вещества). Пересечение цепей образует трофическую сеть. При каждом переходе с одного трофического уровня на другой передаётся не более 10–20% энергии (правило экологической пирамиды Ч. Элтона), так как остальная часть расходуется на дыхание, выделяется с экскрементами и рассеивается в виде теплоты в соответствии со вторым законом термодинамики. Отсюда следуют: короткие пищевые цепи, пирамидальная форма трофической структуры, высокая биомасса продуцентов при низкой биомассе консументов высших порядков.

Экосистема функционирует как открытая система: энергия протекает через неё однонаправленно (солнечная энергия → химическая → рассеиваемое тепло), тогда как вещества совершают циклический оборот, возвращаясь в абиотическую среду через деятельность редуцентов. Именно цикличность круговорота веществ при однонаправленном потоке энергии составляет фундаментальное условие длительного существования экосистемы.

5. Межвидовые взаимоотношения

Совокупность связей между популяциями разных видов образует биотические сообщества. Основные типы взаимоотношений:

• **Конкуренция** — взаимодействие, при котором особи расходуют ограниченный ресурс, потребный обоим. Различают внутривидовую и межвидовую конкуренцию. Принцип конкурентного исключения Г. Ф. Гаузе гласит: два вида, занимающие одну и ту же экологическую нишу, не могут сосуществовать неограниченно долго; более конкурентоспособный вид вытесняет либо локально элиминирует другой. Длительное сосуществование возможно при разделении ниш (смещение по ресурсу, времени активности, месту обитания).

• **Хищничество** — форма взаимодействия, при которой один организм (хищник) умерщвляет и использует другой (жертву). Отношения «хищник — жертва» характеризуются циклическими колебаниями численности обеих популяций (классические опыты Г. Ф. Гаузе с простейшими, математические модели А. Лотки и В. Вольтерры). Хищники выполняют регуляторную роль, поддерживая структуру сообществ и отбраковывая ослабленные особи.

• **Паразитизм** — форма антагонизма, при которой паразит использует живого хозяина как среду обитания и источник питания, не убивая его немедленно. Паразиты (вирусы, бактерии, грибы, гельминты) постоянно связаны с хозяином в течение значительной части жизненного цикла; эволюционно взаимосвязь приводит к снижению вирулентности при возрастании трансмиссивности.

• **Симбиоз** — в широком смысле любое сожительство. При **мутуализме** взаимодействие взаимовыгодно и облигатно (лишайники, микориза, клубеньковые бактерии бобовых, кишечная

микрофлора); при **комменсализме** выгоду получает одна сторона без вреда для другой (акинеты рыб-прилипал, эпифиты); при **протокооперации** взаимовыгодное, но факультативное сосуществование (актиния и рак-отшельник).

6. Устойчивость экосистем и сукцессии

Устойчивость экосистемы определяется её способностью сохранять структуру и функции при внешних воздействиях. Основания устойчивости:

• сбалансированность круговоротов веществ и потоков энергии;

• видовое разнообразие и наличие взаимозаменяемых функциональных групп (принцип экологического дублирования);

• отрицательные обратные связи, стабилизирующие численность популяций (регуляция хищниками, внутривидовая конкуренция, паразиты);

• способность к самовосстановлению после умеренных нарушений.

При превышении порога воздействия (существенное изменение климата, химическое загрязнение, уничтожение эдификаторов) система теряет способность к саморегуляции и деградирует.

Сукцессия — закономерная, направленная и необратимая последовательная смена биоценозов, отражающая процесс формирования и развития сообщества. Различают:

• **первичную сукцессию** — заселение ранее безжизненных субстратов (лава, скальные породы, пески) с образованием почвы пионерными организмами (лишайники, мхи);

• **вторичную сукцессию** — восстановление сообщества на месте нарушенного (вырубки, пожары, заброшенные поля) при сохранённой почве и значительной части биоты.

Сукцессия завершается **климаксовым сообществом** — относительно стабильным биоценозом, находящимся в динамическом равновесии со средой (в зависимости от климатической зоны — тайга, степь, широколиственный лес). Ключевые изменения в ходе сукцессии: рост биомассы и видового разнообразия, удлинение пищевых цепей, замыкание круговоротов веществ, повышение устойчивости.

7. Искусственные сообщества

Агроэкосистемы — сельскохозяйственные экосистемы (поля, сады, пастбища), создаваемые человеком для получения продукции. Их основные отличия от естественных:

• пониженное видовое разнообразие и высокая продуктивность одного–нескольких культивируемых видов;

• постоянное поступление энергии извне (антропогенная энергия: топливо, удобрения, механизация), которое не компенсируется фотосинтетическим покровом;

• короткие и упрощённые цепи питания, слабая способность к саморегуляции;

• невозможность длительного существования без поддержки человека: система деградирует при прекращении антропогенного воздействия.

Агроэкосистемы характеризуются низким коэффициентом полезного действия по преобразованию энергии, требуют внесения минеральных и органических удобрений, применения средств защиты растений, что сопряжено с риском загрязнения среды.

Урбоэкосистемы — экосистемы городов и посёлков, в которых доминирует искусственная среда: застройка, транспортные коммуникации, техническая инфраструктура. Их особенности: концентрация населения и потребления, поступление больших объёмов энергии и сырья, накопление отходов, преобразование микроклимата (остров тепла, пониженная влажность), упрощение флоры и фауны с преобладанием синантропных видов. Урбоэкосистемы зависимы от окружающих территорий, поставляющих продовольствие, воду, кислород и принимающих отходы.

8. Биосфера как глобальная экосистема

Биосфера — оболочка Земли, в пределах которой существует жизнь и осуществляется геохимическая деятельность живого вещества. Она охватывает нижнюю часть атмосферы (тропосферу и частично стратосферу), гидросферу и верхнюю литосферу. Биосфера представляет собой единую глобальную экосистему, в которой все частные экосистемы связаны круговоротами веществ и потоками энергии.

9. Учение В. И. Вернадского о биосфере

Учение о биосфере разработано академиком В. И. Вернадским в работах «Биосфера» (1926) и «Химическое строение биосферы Земли и её окружения». Основные положения:

- биосфера — динамическая оболочка Земли, активное вещество которой определяется живыми организмами; живое вещество (совокупность всех организмов) является важнейшим геологическим фактором;
- живое вещество осуществляет окислительно-восстановительные, газовые, концентрационные и деструктивные функции, формируя химический состав атмосферы, гидросферы и литосферы;
- биосфера имеет геологическую историю: эволюция жизни неразрывно связана с изменением физико-химических условий на планете;
- постепенный переход биосферы в **ноосферу** — сферу разума, в которой человечество становится ведущим геологическим фактором, определяющим планетарные процессы; однако переход этот возможен лишь при научной организации взаимодействия общества и природы.

Согласно Вернадскому, биосфера охвачена круговоротом веществ, в который вовлекаются не только живые организмы, но и продукты их жизнедеятельности, а также косная материя.

10. Роль живых организмов и биомасса в биосфере

Живые организмы выполняют в биосфере следующие функции:

- **энергетическая** — утилизация солнечной энергии в процессе фотосинтеза с образованием органического вещества и кислорода;
- **газовая** — поддержание постоянства состава атмосферы (кислород, углекислый газ, азот);
- **окислительно-восстановительная** — химическое преобразование веществ в ходе метаболизма;
- **концентрационная** — избирательное накопление элементов (образование залежей угля, нефти, известняков, фосфоритов);
- **деструктивная** — минерализация органических остатков, обеспечивающая возврат веществ в биогеохимические циклы;
- **транспортная** — перенос вещества и энергии в пределах биосферы.

Биомасса — суммарная масса живого вещества всех организмов данного уровня или всей биосферы. По современным оценкам, общая биомасса Земли составляет порядка 550 млрд тонн сухого вещества, из которых около 80% приходится на растения. Основная продукция создаётся растениями суши; продуктивность океана ниже по биомассе, но сопоставима по годовой продукции за счёт высокой скорости оборота фитопланктона. Распределение биомассы по поверхности Земли неравномерно: максимум приходится на влажные тропические леса, минимум — на полярные пустыни.

11. Круговороты важнейших биогенных элементов

Круговорот углерода. Основные резервуары: атмосфера (CO_2), океан (растворённые карбонаты и бикарбонаты), биота, ископаемые топлива. Растения фиксируют CO_2 в процессе фотосинтеза: CO2+H2O→CH2O+O2CO2+H2O→CH2O+O2. Органический углерод передаётся по цепям питания, окисляется при дыхании и разложении, вновь возвращаясь в атмосферу в виде CO_2. Часть органического вещества консервируется в виде торфа, угля, нефти, газа и карбонатных осадочных пород. В результате сжигания ископаемого топлива и сведения лесов концентрация

CO_2 в атмосфере возросла с 280 ppm в доиндустриальную эпоху до более чем 420 ppm в настоящее время.

Круговорот азота. Основной резервуар — атмосферный N_2, недоступный большинству организмов. Биологическая фиксация азота осуществляется свободноживущими и симбиотическими азотфиксаторами (азотобактер, клубеньковые бактерии родов *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* у бобовых, цианобактерии). Фермент нитрогеназа катализирует восстановление N_2 до NH_3. Азот включается в органическое вещество растений, переходит по цепям питания и возвращается в неорганическую форму в процессе аммонификации и нитрификации (окисление NH_4^+ до NO_2^- и NO_3^- нитрифицирующими бактериями). Обратный процесс — денитрификация — восстанавливает нитраты до атмосферного N_2, замыкая цикл. Промышленная фиксация азота (метод Габера–Боша) внесла значительные изменения в баланс азота, увеличив поступление соединений азота в среду.

Круговорот фосфора. Фосфор отсутствует в газовой фазе; его резервуары — горные породы и почва. Выветривание апатитов высвобождает фосфаты, доступные растениям; с пищевыми цепями фосфор переходит к консументам, а с органическими остатками возвращается в почву. Значительная часть фосфора выносится в океан, где накапливается в осадках, замыкая цикл лишь за геологическое время. Фосфор является лимитирующим элементом в многих экосистемах.

12. Изменения в биосфере и последствия деятельности человека

Деятельность человека вызывает локальные, региональные и глобальные изменения в биосфере. Основные формы воздействия:

- **загрязнение атмосферы** выбросами оксидов серы и азота (кислотные осадки), углекислого газа, метана, фреонов, твёрдых частиц;
- **загрязнение гидросферы** сточными водами, нефтепродуктами, тяжёлыми металлами, синтетическими поверхностно-активными веществами, микропластиком;
- **деградация почв** — эрозия, засоление, опустынивание, уплотнение, накопление тяжёлых металлов и пестицидов;
- **сокращение биоразнообразия** вследствие разрушения местообитаний, фрагментации ландшафтов, инвазии чужеродных видов, браконьерства;
- **истощение природных ресурсов** — пресной воды, ископаемого топлива, минеральных запасов, лесов;
- **накопление отходов**, в том числе длительно не разлагающихся пластиков.

Последствиями выступают: изменение климата вследствие парникового эффекта, разрушение озонового слоя, закисление водоёмов, эвтрофикация, снижение почвенного плодородия, утрата экосистемных услуг (регулирование климата, водообеспечение, опыление), угрозы продовольственной и экологической безопасности.

13. Воздействие производственной деятельности на окружающую среду

Любая производственная деятельность связана с изъятием природных ресурсов и образованием отходов. Типовые механизмы воздействия: выбросы в атмосферу от сжигания топлива и технологических процессов; сбросы промышленных и коммунальных стоков; образование твёрдых и токсичных отходов; шумовое, вибрационное, электромагнитное и тепловое загрязнение; трансформация ландшафтов при добыче сырья и строительстве. Оценка воздействия осуществляется в рамках инженерно-экологических изысканий и процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Минимизация негативного влияния достигается применением наилучших доступных технологий: систем очистки выбросов и стоков, безотходных и малоотходных производств, рециклинга, энергоэффективных решений, экологического нормирования и мониторинга.

Поскольку конкретное содержание этого раздела зависит от будущей профессиональной сферы, студенту следует дополнить его отраслевым анализом: для инженерных специальностей

— характеристикой выбросов и отходов конкретных технологий; для агрономических — эрозией и химизацией; для строительных — изъятием земель и трансформацией гидрологического режима.

14. Глобальные экологические проблемы и пути их решения

К глобальным экологическим проблемам относятся:

• **изменение климата** — рост средней глобальной температуры поверхности за индустриальную эпоху более чем на 1°C, связанный с эмиссией парниковых газов; пути решения: декарбонизация энергетики (возобновляемые источники, атомная энергетика), повышение энергоэффективности, лесовосстановление, международные соглашения (Рамочная конвенция ООН об изменении климата, Киотский протокол, Парижское соглашение 2015 г.);

• **разрушение озонового слоя** — depletion stratospheric ozone вследствие выбросов хлорфторуглеродов; решено на международном уровне Монреальским протоколом (1987), предусматривающим поэтапный запрет озоноразрушающих веществ; наблюдается постепенное восстановление озонового слоя;

• **сокращение биоразнообразия** — темпы вымирания видов, оценённые как превышающие естественные фоновые; решения: расширение сети особо охраняемых природных территорий, восстановление местообитаний, международные конвенции (CITES, Конвенция о биологическом разнообразии);

• **опустынивание и деградация земель** — решения: агротехнические мероприятия, лесомелиорация, рациональное пастбищное хозяйство;

• **дефицит пресной воды** — решения: экономия водных ресурсов, опреснение, очистка стоков, межгосударственное водное сотрудничество;

• **накопление отходов и пластикового загрязнения океана** — решения: раздельный сбор и рециклинг, ограничение одноразового пластика, разработка биоразлагаемых материалов.

Общий принцип решения экологических проблем — переход от реактивного (ликвидация последствий) к превентивному управлению, основанному на оценке воздействия до осуществления деятельности, а также международное сотрудничество, поскольку биосферные процессы не подчиняются государственным границам.

15. Экология как основа рационального природопользования

Рациональное природопользование предполагает использование природных ресурсов с сохранением способности биосферы к самовосстановлению. Теоретические основания, выработанные экологией:

• принцип **устойчивого развития**, закреплённый концепцией, принятой Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992): удовлетворение потребностей настоящего поколения без ущерба для будущих поколений;

• нормирование воздействия на основе **предельно допустимых концентраций** и предельно допустимых выбросов и сбросов, учитывающих ассимиляционную ёмкость экосистем;

• принцип **платности природопользования** — экономическая оценка ущерба и затрат на восстановление;

• сохранение **экологического каркаса** территории — системы особо охраняемых природных территорий и экологических коридоров;

• экологический мониторинг — система наблюдений за состоянием среды, обеспечивающая своевременное выявление негативных тенденций.

Экология как научная дисциплина является теоретической основой охраны природы: без знания закономерностей функционирования экосистем, круговоротов веществ, пределов толерантности видов невозможно обоснованное экологическое нормирование и восстановление нарушенных территорий.

16. Ноосфера

Ноосфера — понятие, введённое Э. Леруа и П. Тейяром де Шарденом и разработанное В. И. Вернадским, обозначает этап эволюции биосферы, при котором разумная деятельность человека становится ведущим фактором её развития. Признаки ноосферы: глобальный масштаб воздействия на геохимические циклы, научная организация производства и потребления, сознательное регулирование взаимодействия общества и природы, глобальные системы связи и информации. Реализация ноосферной концепции требует сопоставления антропогенного воздействия с ассимиляционной ёмкостью биосферы и перехода к устойчивому развитию. Реально современное состояние биосферы характеризуется преобладанием нерегулируемого воздействия; переход к ноосфере рассматривается как цель, а не свершившийся факт.

17. Правила поведения человека в природной среде

На индивидуальном уровне экологически ответственное поведение включает:

- ограничение потребления и минимизацию образования отходов, раздельный сбор и передачу вторсырья на переработку;
- экономию воды, электроэнергии и тепла, использование энергоэффективных приборов и LED-освещения;
- отказ от одноразовой пластиковой тары, использование многоразовых альтернатив;
- соблюдение правил поведения в природных территориях: запрет на разведение открытого огня вне специально отведённых мест, запрет на вытаптывание растительного покрова, изъятие редких видов растений и животных, шумовое беспокойство фауны;
- отказ от приобретения изделий из охраняемых видов;
- участие в восстановительных акциях: посадке деревьев, очистке берегов, наблюдении за биоразнообразием в рамках гражданской науки.

На уровне общества действуют экологическое законодательство (в Российской Федерации — Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ, Лесной и Водный кодексы, нормы об обращении с отходами), государственный экологический надзор, экспертиза проектов, экологическое просвещение. Совокупность правовых, экономических и образовательных механизмов формирует культуру природопользования, необходимую для перехода биосферы в состояние ноосферы.

Экология формирует научный фундамент понимания взаимоотношений организмов со средой и механизмов устойчивости надорганизменных систем. Знание структуры экосистем, трофических связей и биогеохимических циклов является необходимым условием рационального природопользования и охраны природы. Биосфера как глобальная экосистема в настоящее время испытывает беспрецедентное по масштабу антропогенное воздействие; разрешение глобальных экологических проблем возможно лишь при научной организации взаимодействия общества и природы, сочетающей правовое регулирование, технологические решения и экологическую культуру каждого человека.