

Экология

Программа курса:

1. ВВЕДЕНИЕ. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ.

Экология как наука, познающая живой облик биосферы, и как мировоззрение сосуществования человека с остальной природой. Введение термина "экология" Эрнстом Геккелем в 1866 г. для обозначения науки о взаимодействиях организма и среды. Экология как "физиология взаимоотношений" в геккелевской системе биологических наук.

Две группы задач и соответствующие им подходы в современной экологии:

1. Изучение механизмов, определяющих распространение организмов, их обилие и его изменение во времени (=популяционный подход);
2. Изучение протекающих с участием организмов процессов трансформации вещества и энергии в экосистемах и биосфере (=экосистемный подход).

Возможности и ограничения каждого из подходов. Объяснительное начало современной экологии. Роль теоретических моделей (гипотез), экспериментов и полевых наблюдений.

Множественность корней современной экологии. Естественная история XVIII века: описание биоразнообразия в рамках таксономии, креационистские представления об "экономии природы" и "природном равновесии". Биогеография: путь от описания распространения организмов к его объяснению (А.Гумбольдт, А.Декандоль). Демография: первые модели роста популяций (Т.Мальтус, П.-Ф.Ферхюльст). Теория естественного отбора Ч.Дарвина: элементы будущего популяционного подхода. Изучение сообществ в рамках ботаники и зоологии. Начало оформления экологии в самостоятельную науку на рубеже XIX и XX веков. Концепция сукцессии - одна из первых в нарождающейся науке (Г.Каульс, Ф.Клементс).

Период интенсивного становления экологии: 1920-1940-е гг. Появление экологических обществ и специализированных периодических изданий. Переоткрытие "логистического закона" роста популяций (Р.Перль). "Экология животных" Ч.Элтона. Математические модели межпопуляционных взаимодействий

(В.Вольтерра, А.Лотка). Внедрение экспериментальных методов (работы Г.Ф.Гаузе). Элементы будущего экосистемного подхода в лимнологии (Э.Бёрдж в США, А.Тинеман в Германии, Л.Л.Россолимо, Г.Г.Винберг, В.С.Ивлев в России). Введение понятий "экосистема" (А.Тенсли) и "биогеоценоз" (В.Н.Сукачев). Популяционный подход в экологии растений (Л.Г.Раменский в России, Г.Глизон в США). Учение о биосфере В.И.Вернадского.

2. ЭКОЛОГИЯ ОСОБИ

Организм как дискретная самовоспроизводящаяся структура, связанная обменом веществ с окружающей средой. Способность к росту и размножению. Унитарные и модулярные организмы. Два типа экологических факторов: условия и ресурсы. Диапазон значений основных физических и химических показателей (температуры, влажности, рН, солевого состава и др.), в пределах которого возможно существование и размножение организмов. Кривая толерантности. Многомерная модель экологической ниши. Взаимодействие факторов. Переживание неблагоприятных условий в покоящемся состоянии.

Обменные процессы, связывающие организмы со средой. Биогенные элементы. Источники энергии для организмов. Автотрофы. Фотосинтез и хемосинтез. Дыхание растений. Заменяемые и незаменимые ресурсы. Лимитирующая концентрация необходимого ресурса. "Закон Ю.Либиха". Гетеротрофы. Поступление энергии с пищей и её дальнейшая трансформация. Рацион, ассимиляция, траты на обмен, рост и размножение. Потребление кислорода как показатель скорости обмена. Зависимость общего обмена и его интенсивности от массы тела. Влияние температуры на организмы. Экотермы и эндотермы. Зависимость интенсивности обмена и скорости развития от температуры. Правило "суммы температур".

Жизненные циклы. Полициклические (размножающиеся многократно) и моноциклические (размножающиеся однократно) организмы. Конкуренция за ресурсы между разными функциями. "Трейдоф". Представление о r- и K-отборе. "Цена" размножения.

3. ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Определение популяции в экологии и генетике. Генетическая неоднородность популяции. Границы популяции. Статические характеристики популяции: общая численность, плотность, структура (размерная, возрастная, половая). Связь между размерами организмов и плотностью популяции. Популяция в пространстве: случайное, агрегированное (пятнистое) и регулярное размещение особей. Выявление характера распределения с помощью статистических методов. Причины, приводящие к определенному типу пространственного размещения. Расселение и снижение локальной плотности популяций. Территориальное поведение. Соотношение затрат на охрану территории и получаемых при этом выгод.

Динамические характеристики популяции: скорость роста численности, рождаемость, смертность, интенсивность иммиграции и эмиграции. Динамика

популяции как баланс протекающих в ней процессов. Распределение смертности по возрастам. Когортные и статические таблицы выживания (дожития): способы их построения. Расчет ожидаемой продолжительности дальнейшей жизни для разных возрастов. Основные типы кривых выживания и их распространенность среди различных групп организмов. Демографические таблицы, учитывающие интенсивность размножения. Определение коэффициента воспроизводства R_0 . Время генерации и способы его оценки. Экспоненциальная модель популяционного роста. Постоянство удельной скорости роста численности, как необходимое и достаточное условие экспоненциального роста. Скорость экспоненциального роста: её зависимость от характеристик организма (размера и др.), обеспеченности ресурсами и условий среды. Стабильное возрастное распределение, достигаемое при экспоненциальном увеличении численности. Расчет скорости экспоненциального роста по демографическим таблицам. Репродуктивная структура популяции. Разные типы возрастной структуры популяций и их связь с динамикой численности. Динамика биомассы популяции. Продукция как суммарный прирост массы особей. Элиминация биомассы.

Рост народонаселения во всем мире и в отдельных регионах. Изменение кривой выживания по мере экономического развития и улучшения здравоохранения. Детская смертность. Различия в возрастной структуре и скорости роста популяций развитых и развивающихся стран.

Проблема динамики численности популяций. Логистическая модель регуляции роста численности: предпосылки и следствия. Эффект запаздывания и автоколебания численности. Воспроизведение автоколебательного режима в лабораторных экспериментах (опыты А.Никольсона с падающей мухой). Детерминирование равновесной плотности и регуляция. Лимитирующая роль климатических условий. Ограничение популяций ресурсами, прессом хищников и паразитов. Факторы зависимые и независимые от плотности. Гипотеза "распределения риска". Минимальный размер популяции, необходимый для её благополучного существования. Проблема охраны редких и исчезающих видов. Красные книги.

Концепция саморегуляции численности. Поведенческие, физиологические и генетические механизмы регуляции. Разнообразие типов динамики популяций - от хаотического до строго периодического. Циклические колебания численности грызунов, зайцеобразных и хищных. "Групповой эффект", явление смены "фаз" и вспышки численности саранчовых. Смена механизмов регуляции в зависимости от достигнутого уровня численности. Преобладающий способ регуляции численности и положение организмов в цепях питания: гипотеза Хэйрстона - Смита - Слободкина и её критика. Эволюция механизмов регуляции численности. Виды-вредители и их происхождение. Ограничение численности видов-вредителей: истребительные и регулирующие меры. Пестициды. Последствия применения хлорорганических пестицидов: накопление в высших звеньях трофической цепи. Современные требования к пестицидам. Поддержание численности видов-вредителей на экономически оправданном уровне. Использование естественных врагов для контролирования видов-вредителей.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Разные типы взаимодействий (хищничество, конкуренция, мутуализм) и способы их выявления. Отношения "ресурс - потребитель" (хищник - жертва). Функциональная реакция потребителя на увеличение количества ресурса (числа жертв). Разные типы функциональной реакции. Численная реакция потребителя на возрастание количества ресурса. "Пороговая концентрация" ресурса - минимальное содержание ресурса, допускающее поддержание стационарной (постоянной) численности. Изоклина "нулевого прироста" популяции в пространстве двух ресурсов (взаимозаменяемых и незаменимых).

Колебания "хищник - жертва". Математические модели А.Лотки и Розенцвейга - Макаурта: их графическое выражение и интерпретация. Попытки создания экспериментальных моделей системы "хищник - жертва". Опыты Г.Ф.Гаузе и Хаффейкера. Роль миграции хищника и жертвы в поддержании равновесной системы. Взаимоотношения "хищник - жертва" в природе. Эффективность регуляции хищниками популяций жертв в зависимости от их плотности. "Расчетливое хищничество". Коэволюция хищника и жертвы. Пример планктонных животных и потребляющих их хищников. Максимизация рождаемости и минимизация смертности как разные стратегии сосуществования с хищником. Морфологические и поведенческие способы защиты от хищника. Вертикальные миграции. "Цена" защиты от хищников.

Пищедобывательное поведение хищников (потребителей). Соотношение затрат на добычу пищи и получаемых при этом выгод. Оптимальная стратегия выбора жертв.

Популяции животных, эксплуатируемых человеком. Разные стратегии промысла. Максимальный поддерживаемый урожай. Опасности "фиксированной квоты" (пример китобойного промысла). Регулирование промыслового усилия и процента изъятия. Размерно-возрастная структура эксплуатируемых популяций. Особые виды "хищничества". Взаимодействия растительноядных животных и растений в океане и на суше. Способы защиты от выедания у организмов фитопланктона. Механизмы защиты высших наземных растений от выедания фитофагами. Целлюлоза, лигнин и продукты вторичного метаболизма. Эффективность защиты и скорость роста - "трейдоф". Ограниченные возможности животных в переработке растительных тканей. Использование симбионтов. Яды растений на службе животных.

Взаимоотношения с пищевыми ресурсами редуцентов и детритофагов. Отсутствие контроля за ресурсами со стороны потребителей. Специализация редуцентов и их смена в процессе разложения органического вещества. Паразитизм. Микропаразиты и макропаразиты. Паразитоиды. Разные способы передачи микропаразитов. Коэффициент воспроизводства популяции микропаразитов. Критическая плотность популяции хозяина, обеспечивающая распространение микропаразитов. Организм хозяина как местообитание паразитов. Конкуренция среди паразитов. Конкуренция. Эксплуатация и интерференция. Соотношение внутривидовой и межвидовой конкуренции. Теоретический подход к изучению

конкуренции: система уравнений Вольтерры - Лотки - Гаузе и их графическая интерпретация. Поведение модельной системы конкурентов в зависимости от соотношения параметров уравнений. Ограничения модели. Лабораторные опыты по конкуренции с простейшими, микроорганизмами и насекомыми. Зависимость исхода конкуренции от внешних условий.

Модели взаимодействия видов через потребление общих ресурсов. "Пороговая концентрация" ресурса и конкурентное преимущество. Конкуренция за два ресурса: графическая модель Д.Тилмана. Различие пороговых концентраций и предсказание исхода конкуренции. "Трейдоф", связанный со способностью растений выносить ту или иную концентрацию лимитирующего ресурса. Принцип конкурентного исключения (закон Гаузе) и его современная трактовка. Связь между числом устойчиво сосуществующих видов и числом плотностно-зависимых факторов.

Сосуществование конкурирующих видов. Степень допустимого перекрытия экологических ниш. Эволюция конкурентов. Явление "смещения признаков". Роль хищников. Конкуренция в пространственно неоднородной среде и при колебательном режиме поступления ресурсов. "Планктонный парадокс" и сосуществование многих конкурирующих видов растений в наземных биотопах: возможные объяснения. Мутуализм. Примеры мутуализма среди животных, а также животных с растениями. Опылители. Микориза - мутуализм высших растений и грибов. Лишайники.

5. СООБЩЕСТВА

Определение сообщества. Различные подходы к выделению сообществ, описанию их структуры и функционирования. Сообщество, трактуемое как целостная, высокоинтегрированная система ("квази-организм"), и сообщество - как простая совокупность совместно обитающих популяций. Ординация и классификация сообществ. Структура сообществ. Видовое разнообразие как интегральная характеристика сообщества. Индексы видового разнообразия, их зависимость от числа видов и соотношения их численностей. Различные типы распределения обилия видов, входящих в сообщество. Логарифмические ряды (модель Фишера - Корбета - Уильямса). Логнормальное распределение численностей (Престон) и модель разломанного стержня (Макартур). Роль конкуренции и хищничества в формировании и поддержании структуры сообществ. Островные сообщества: соотношение случайности заселения и биотических взаимодействий в формировании видового состава. Расхождение экологических ниш в сообществе. Основные типы эколого-ценотических стратегий по Л.Г.Раменскому и Грайму: виоленты (компетиторы), пациенты (стресс-толеранты) и эксплеренты (рудералы). Динамика сообществ во времени. Первичные и вторичные сукцессии. Климаксные сообщества. Изменения видового разнообразия в ходе сукцессии. Связь между продуктивностью и разнообразием. Снижение разнообразия при удобрении.

Устойчивость сообществ. Локальная и общая устойчивость. Связь между сложностью сообщества и его устойчивостью. Снижение локальной устойчивости в сложных моделях пищевых сетей. "Связность" пищевых сетей - доля пар непосредственно взаимодействующих видов от всех возможных попарных

сочетаний видов в сообществе. Снижение "связности" при увеличении числа видов. Особая уязвимость (хрупкость) сложных сообществ, развивающихся в стабильных прогнозируемых средах. Нарушение структуры сообществ под влиянием антропогенных воздействий. Снижение видового разнообразия донных сообществ рек при загрязнении. Использование индексов разнообразия и комбинированных показателей, учитывающих индикаторную значимость отдельных таксономических групп организмов. Катастрофическое снижение видового разнообразия тропических сообществ в результате хозяйственной деятельности человека. Разработка мер по охране биоразнообразия.

6. ЭКОСИСТЕМЫ

Экосистема как функциональная и структурная единица биосферы. Круговорот биогенных элементов. Трудности определения границ экосистемы: несовпадение пространственно-временных масштабов круговоротов разных элементов. Ограниченное число биогеохимических функций. Возможность интегральной оценки физиологической активности больших групп организмов. Отличия экосистемного подхода от популяционного. Экосистемы и сообщества. Биогеоценоз. Биом.

Основные функциональные группы организмов в экосистеме. Продуценты, консументы и редуценты. Условность границы между консументами и редуцентами. Биотрофы и сапротрофы. Биомасса и продукция. Первичная продукция: чистая, валовая. Фотосинтетически активная радиация (ФАР). Фотосинтез по типу С3, С4 и САМ - экологические следствия физиологических различий. Лимитирование первичной продукции различными факторами (освещенностью, температурой, влажностью, концентрацией биогенных элементов). Соотношение эндогенной (непосредственно фиксированной в процессе фотосинтеза) и экзогенной (например, потраченной на транспорт) энергии в экосистеме.

Утилизация первичной продукции в трофических цепях. Рацион, ассимиляция, продукция. Коэффициент использования потребленной пищи на рост (К2 В.С.Ивлева). Пастбищная и детритная пищевые цепи. Трофическая сеть и трофические уровни. Пирамида продукции. Критика концепции трофических уровней. Регуляция отдельных уровней "снизу" и "сверху". Зависимость доминирующего способа регуляции растений и первичных фитофагов в зависимости от числа трофических уровней.

Водные экосистемы. Вода как среда жизни. Плотность воды и зависимость от температуры. Теплоемкость. Система течений. Оптические свойства воды. Проникновение света на глубину: снижение освещенности и изменение спектрального состава. Вертикальная структура водной толщи. Соотношение масштабов перемешивания по горизонтали и вертикали. Вода как универсальный растворитель. Основной химический состав океанических и континентальных вод.

Жизнь в толще воды и на дне. Планктон, нектон, бентос. Пелагиаль и литораль. Основные группы продуцентов: фитопланктон и макрофиты. Первичная продукция

фитопланктона и методы её определения. Метод темных и светлых склянок в кислородной модификации (работы Г.Г.Винберга). Углеродный (по включению ^{14}C) метод определения продукции. Факторы, ограничивающие продукцию фитопланктона. Относительные количества основных биогенных элементов (углерода, азота, фосфора) в телах организмов (соотношение Редфильда) и в окружающей среде. Основные группы консументов и редуцентов в водной среде. Зоопланктон и его роль в минерализации органического вещества. Инвертированная пирамида биомасс. Гетеротрофные бактерии. Взвешенное и растворенное органическое вещество. Детрит. Схема потоков вещества и энергии в пелагической экосистеме. "Микробная петля". Более высокое (чем на суше) число трофических уровней. Океанические экосистемы. Неравномерность распределения первичной продукции по акватории океана. Высокая продуктивность прибрежных зон и районов подъема глубинных вод (апвеллингов). Низкая продуктивность большей части мирового океана и её возможные причины. Коралловые рифы - уникальные экосистемы высокой продуктивности и высокого разнообразия. Разрушение коралловых рифов в результате деятельности человека. Специфические экосистемы, развивающиеся на глубине в местах выхода богатых сульфидами термальных вод. Определяющая роль хемосинтеза.

Океан как источник пищевых ресурсов для человека. Рыбный и китобойный промысел. Аквакультура. Охрана морских экосистем от нефтяного и других видов загрязнения. Внутренние моря и эстуарии: их высокая продуктивность, возможности использования и охрана.

Континентальные водоемы. Озеро как экосистема. Термический и кислородный режим озера. Стратификация водной толщи. Разные типы озер (олиготрофное, мезотрофное, евтрофное). Ключевая роль фосфора в лимитировании первичной продукции. Фиксация атмосферного азота. Сезонная сукцессия в планктонном сообществе. Биогенная "нагрузка" и евтрофирование. Меры предотвращения евтрофирования. Контроль за развитием "снизу" (недостатком биогенов) и "сверху" (за счет пресса фитофагов). Биоманипулирование.

Особенности речных экосистем. Соотношение автохтонного и аллохтонного органического вещества. Загрязнение рек и меры его предотвращения. Искусственное зарегулирование стока рек и его экологические последствия. Наземные экосистемы. Особенности их организации, отличия от экосистем водных. Определяющая роль высших растений. Деревья и травы. Резкое преобладание биомассы растений над биомассой всех остальных групп организмов. Важность детритных пищевых цепей. Почва и происходящие в ней процессы трансформации вещества. Роль животных, бактерий и грибов. Принципиальные отличия трофической организации наземных экосистем от пелагических. Ограниченное число трофических уровней.

Основные типы растительных формаций Земного шара. Их распределение в зависимости от климатических условий. Первичная продукция в наземных экосистемах разного типа. Влажные тропические леса - наиболее продуктивные экосистемы биосферы. Малое количество биогенов и высокая скорость их циркуляции. Сложная ярусная структура. Жизнь в кронах. Чрезвычайно высокое

видовое разнообразие и его возможное объяснение. Катастрофические последствия сведения тропических лесов. Противоречия между необходимостью природоохранных мер и необходимостью развития сельского хозяйства в тропических районах с быстро растущим населением. Тропические саванны и бореальные степи. Количество осадков и неравномерность их распределения во времени как факторы, препятствующие развитию лесов. Пожары и их экологическая роль. Значительная первичная продукция и сильный пресс фитофагов. Превращение степей в пастбища и поля. Роль злаковых культур. Применение удобрений и пестицидов.

Пустыни (жаркие и "холодные"). Вода - основной лимитирующий фактор. Приспособления растений и животных к жизни в пустыне. Искусственное орошение пустынь и его последствия. Засоление почв. Расширение области, занятой пустынями, в результате деятельности человека. Листопадные и хвойные леса умеренной зоны. Ярко выраженная сезонность. Сведение лесов исходного типа и замена их искусственными насаждениями.

Хвойные бореальные леса (тайга). Короткий период вегетации и долгая снежная зима. Болота. Их роль в регуляции речного стока. Охрана таежных экосистем.

Тундра. Низкие температуры и короткий вегетационный сезон. Вечные мерзлота. Приспособления организмов к длительному промерзанию. Уязвимость тундровых экосистем для антропогенных воздействий.

7. БИОСФЕРА И МЕСТО В НЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Биосфера как охваченная жизнью область планеты Земля. Распределение солнечной радиации по поверхности Земли. Наличие воды и атмосферы. Их роль в поддержании определенного температурного режима. Атмосфера Земли в сравнении с атмосферами других планет. Особая роль организмов. Биосфера как гигантская система жизнеобеспечения. Концепция биосферы В.И.Вернадского и концепция Геи Дж.Лавлока.

Биосферный цикл углерода. Содержание углерода в разных формах в литосфере, атмосфере, гидросфере и биоте. Соотношение углерода растворенного органического вещества, взвешенного органического вещества и живых организмов. Устойчивые формы органического углерода (целлюлоза, лигнин и др.). Содержание диоксида углерода (CO₂) в атмосфере: многолетние колебания и их связь с глобальными изменениями климата. Сезонные и широтные изменения концентрации CO₂ в атмосфере. Роль микроорганизмов и высшей растительности в регуляции содержания CO₂ в атмосфере. Увеличении концентрации диоксида углерода в атмосфере в течение последнего столетия. Парниковый эффект: механизм возникновения и возможные последствия. Другие газы, способствующие развитию парникового эффекта. Образование метана: роль естественных экосистем и антропогенных источников. Рост концентрации метана в атмосфере. Глобальное распределение эмиссии метана в пространстве и времени. Процессы противостоящие накоплению CO₂ и CH₄ в атмосфере. Роль экосистем океана и суши. Рост растений в условиях повышенного содержания CO₂. Опасность

глобального потепления. Дымы в атмосфере. Роль вулканов, естественных пожаров и антропогенных источников. Опасность глобального похолодания в случае крупных военных конфликтов ("ядерная зима").

Биосферный цикл азота. Азотфиксация в океане и на суше. Роль различных групп микроорганизмов. Роль микроорганизмов в трансформации соединений азота. Значение азота как ресурса, лимитирующего первичную продукцию в океане. Ограничение азотфиксации нехваткой других биогенных элементов. Нитрификация и денитрификация. Последовательное появление этих процессов в эволюции биосферы. Замыкание цикла азота. Азотфиксация на суше. Особая роль азотфиксирующих симбионтов высших растений. Производство и применение азотных удобрений: масштабы этого процесса в сравнении с естественной азотфиксацией. Накопление нитратов в грунтовых водах. Выбросы оксидов азота промышленными предприятиями. Дальнейшая трансформация оксидов азота в атмосфере.

Биосферный цикл серы. Решающая роль микроорганизмов. Образование сероводорода в водоемах как результат восстановления сульфатов сульфатредуцирующими бактериями. Важность анаэробных условий. Сероводородная зона Черного моря. Опасность образования сероводорода при загрязнении сточными водами. Загрязнение атмосферы диоксидом серы, выбрасываемым промышленными предприятиями. Образование в атмосфере серной кислоты. Кислые дожди и их воздействие на озера, реки и леса.

Биосферный цикл фосфора. Ведущая роль геохимических процессов. Отсутствие в атмосфере газообразных соединений фосфора. Сток фосфора с суши в море. Потребление фосфора организмами в сравнении с азотом и углеродом. Лимитирование фосфором первичной продукции в континентальных водоемах. Быстрая оборачиваемость фосфора в водной толще. Роль зоопланктона в минерализации органических фосфоросодержащих соединений. Евтрофирование водоемов. Фосфорные удобрения. Запасы фосфоросодержащих минералов.

Биосферный цикл кислорода. Свободный кислород атмосферы и его происхождение. Озоновый слой и опасность его разрушения. Кислород в гидросфере. Роль кислорода в циклах других биогенных элементов. Окисление азота и серы. Образование рудных месторождений (железа и марганца) с участием бактерий.

Круговорот воды. Глобальная система гидрологического цикла. Осадки, испарение и влагоперенос. Соотношение запасов воды в океане и на континентах. Вода, сосредоточенная в ледниках, подземных бассейнах, в водоемах на поверхности суши (озера, реки) и в почве. Крайняя неравномерность распределения воды на суше. Различия между отдельными зонами по количеству осадков и регулярности их выпадения. Рост потребления воды на душу населения. Проблема нехватки воды для сельского хозяйства. Ирригация. Критическая ситуация в Приаралье. Проблема загрязнения водоемов.

Проблема обеспеченности населения продовольствием. Соотношение роста урожая и роста затрат (удобрений, пестицидов, энергии) на его получение. Селекция, направленная на увеличение пищевой ценности сельскохозяйственных культур. "Зеленая революция". Производство пищи как биосферный процесс. Ограниченность земельных угодий и опасность их деградации (ветровая и водная эрозия, заболачивание, засоление). Опустынивание сельскохозяйственных земель, расположенных вне гумидных зон.

Производство энергии как результат деятельности человека и как условие, ограничивающее его развитие. Структура энергопотребления в современном мире. Соотношение традиционных источников топлива, ископаемого топлива, ядерной энергии и гидроэнергии. Оценка запасов невозобновляемых источников энергии. Отрицательные последствия использования ископаемого топлива. Опасность радиационного загрязнения и проблема захоронения радиоактивных отходов. Различия в уровне потребления энергии на душу населения между разными странами. Возможные стратегии дальнейшего энергопользования и их последствия.

Осознание человеком своей ответственности перед остальной биосферой. Причины, побуждающие охранять природу. "Благоговение перед жизнью" (А.Швейцер). Переход от антропоцентризма к биоцентризму.

Литература:

- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: особи, популяции и сообщества. М.: Мир, 1989, в 2-х томах
- Гиляров А.М. Популяционная экология. М.: Изд-во Московск. гос. унив-та, 1990
- Маргалев Р. Облик биосферы. М.: Наука, 1992
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986, в 2-х томах
- Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980
- Красилов В.А. Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты. М.: Институт охраны природы и заповедного дела, 1992
- Смуров А.В., Полищук Л.В. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статический и динамический аспекты. М.: Изд-во Московск. гос. унив-та, 1989
- Управление планетой Земля (спец. выпуск журнала "В мире науки", 1989, № 11)

- Энергия для планеты Земля (спец. выпуск журнала "В мире науки", 1990, № 11)
- Биосфера. (Перевод с англ. под ред. М.С.Гилярова). М.: Мир, 1972.
- Небел Б. Наука об окружающей среде. М.: Мир, 1993, в 2-х томах
- Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. М.: Мир, 1994-1995, в 4-х книгах
- Krebs C. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. (3d edition). N. Y.: Harper and Row, 1985
- MacArthur R. Geographical ecology: Patterns in the distribution of species. N. Y.: Harper and Row, 1972