



**Современный
Гуманитарный
Университет**

Дистанционное образование

Рабочий учебник

Фамилия, имя, отчество _____

Факультет _____

Номер контракта _____

ЭКОЛОГИЯ

ЮНИТА 1

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

МОСКВА 1999

Разработано Т.А.Кузовниковой, канд.биолог.наук, доцентом

Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений

КУРС: ЭКОЛОГИЯ

Юнита 1. Основы экологии.
Юнита 2. Экология человека.

ЮНИТА 1

Рассмотрено историческое развитие экологии. Даются основные понятия, законы экологии, представления об экологическом моделировании, экологической географии, экологических возможностях окружающей среды, экологических кризисах и экологии как научной основе рационального природопользования.

Для студентов Современного Гуманитарного Университета

Юнита соответствует профессиональной образовательной программе № 4

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ПРОГРАММА КУРСА	4
ЛИТЕРАТУРА	5
НАУЧНЫЙ ОБЗОР	6
1. Историческое развитие экологии	6
2. Основные понятия и законы экологии	8
2.1. Основные законы экологии	14
2.2. Организм и среда	15
2.3. Поток энергии и круговорот питательных веществ	19
2.4. Пищевые цепи и трофические уровни	20
2.5. Биогеохимические циклы (круговороты)	24
2.6. Иерархия живых систем	30
2.7. Популяционная экология	45
3. Экологическое моделирование	51
3.1. Методы экологии и роль в них экологического моделирования ...	51
3.2. Модели экологических систем и процессов	52
4. Экологическая география. Экологические возможности окружающей среды	54
4.1. Экологическая география	54
4.2. Экологические возможности окружающей среды	55
4.3. Ограниченность экологических (природно-ресурсных) возможностей окружающей среды	57
5. Экологический кризис	58
5.1. Понятие экологического кризиса	58
5.2. Структура экологического кризиса	58
5.3. Причины экологического кризиса	59
6. Экология как научная основа рационального природопользования и охрана живых организмов	64
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	67
ГЛОССАРИЙ*	

* Глоссарий расположен в середине учебного пособия и предназначен для самостоятельного заучивания новых понятий.

ПРОГРАММА КУРСА

Историческое развитие экологии.

Основные понятия и законы экологии. Организм и среда. Поток энергии через биосферу. Пищевые цепи. круговороты веществ. Иерархия живых систем.

Методы экологии и роль в них экологического моделирования.

Модели экологических систем и процессов.

Экологическая география. Экологические возможности окружающей среды. Ограниченность экологических (природно-ресурсных) возможностей окружающей среды.

Экологический кризис. Понятие. Структура. Причины.

Экология как научная основа рационального природопользования и охрана живых организмов.

ЛИТЕРАТУРА

Базовый учебник

1. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3 т. : Пер с англ. М., 1990. Т.2. С.78-146.

либо

2. Чернова Н.М., Былова А.М. Экология. М., 1988.

либо

3. Одум Ю. Экология в 2 т. М., 1986.

Дополнительная литература

4. Андерсон Дж.М. Экология и наука об окружающей среде: биосфера, экосистема, человек: Пер. с англ. Л., 1985.

5. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л., 1971.

6. Вернадский В.И. Биосфера. М., 1967.

7. Вернадский В.И. Живое вещество. М., 1978.

8. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. М., 1995.

9. Тюрюканов А.Н., Федоров В.М. Н.В.Тимофеев-Ресовский: Биосферные раздумья. М., 1996.

10. Радкевич В.А. Экология: Учебник. М., 1997.

11. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. М., 1992.

12. Пехов А.П. Биология и общая генетика: Учебник. М., 1994.

13. Агаджанян Н.А., Торшин В.И. Экология человека. М., 1994.

14. Арский Ю.М. и др. Экологические проблемы: Что происходит, кто виноват? Что делать? / Под ред. проф. В.И.Данилова-Данильяна. М., 1997.

15. Петров В.В. Экологическое право России. М., 1995.

16. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Слов.-справ. М., 1992.

17. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М., 1994.

18. Стадницкий Г.В., Родионова А.И. Экология. СПб, 1996.

19. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. Основы экологии. М., 1995.

Примечание. Знаком (*) отмечены работы, выдержками из которых сформирован тематический обзор.

1. ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИИ

Во всех энциклопедиях и справочниках мы можем прочитать, что термин "экология" был предложен в 1866 г. крупнейшим немецким зоологом (биологом-дарвинистом) **Эрнстом Геккелем** (1834-1919). Термин образован из двух греческих слов: "ойкос", что означает дом, жилище, и "логос" - наука, изучение. Образно говоря, экология - это наука о том, как жить и хозяйствовать в собственном доме. Каждый вид имеет свой дом, для современного человека - это вся планета Земля и околоземное космическое пространство.

Впервые этот термин был употреблен на 8 лет ранее американским философом, писателем-романистом и натуралистом широкого профиля **Генри Дэвидом Торо** (1817-1862), главная книга которого "Жизнь в лесу" была переведена на многие языки, в том числе и на русский. Она навеяна идеями Жана Жака Руссо (1712-1778) и представляет идиллическое описание жизни человека в ненарушенных природных условиях.

Древнегреческое слово "ойкос" или "Эйкос" правильнее переводить как "местообитание". Г.Д.Торо в 1858 г. в одной из своих публицистических статей употребил слово "экология" в смысле "природоведение", считая, что природу надо изучать, потому что она, а не строение городов, является истинным домом для человечества.

Экология, по-видимому, одна из древнейших наук, она приобрела практическое значение еще на заре развития цивилизации. Интерес к среде своего обитания был свойственен человеку всегда. И это понятно, так как от качества этой среды зависело не только благополучие семьи, рода, племени, но и само его существование.

В средние века господство схоластики и богословия ослабило интерес к изучению природы. Однако в эпоху Возрождения, Ренессанса великие географические открытия снова возродили биологические исследования натуралистов. В XVII-XVIII вв. экологические сведения встречались в работах зоологов, путешествующих натуралистов.

Автор первого эволюционного учения **Жан Батист Ламарк** (1744-1829) выделял влияние "внешних обстоятельств" в качестве одной из наиболее важных причин эволюции животных и растений.

Экологическое направление в географии растений положили работы **Александра Гумбольдта** (1769-1859). Внешний облик растительности определяет "физиономию" ландшафта и растительность в биосфере распределена в соответствии с географической зональностью. В сходных географических условиях у растений разных таксономических групп вырабатываются сходные "физиономические" формы, т.е. одинаковый внешний облик. По распределению и соотношению этих форм можно судить о специфике физико-географической среды.

Значительный вклад в экологическое мышление внесли труды русских зоологов **К.Ф.Рулье** (1814-1858), **Н.А.Северцова** (1827-1885) и многих других ученых.

Экология выделилась в качестве самостоятельной биологической науки в конце XIX века.

Особый день в истории экологии как науки - 14 сентября 1866 года, когда Э.Геккель закончил свою книгу "Всеобщая морфология организмов", в которой было дано первое определение этой науки: "Под экологией мы подразумеваем общую науку об отношениях организмов к окружающей среде,

* Жирным шрифтом выделены новые понятия, которые необходимо усвоить. Знание этих понятий будет проверяться при тестировании.

куда мы относим все “условия существования” в широком смысле этого слова. Они частично органической, частично неорганической природы”. Геккель дал развернутую характеристику этой отрасли знаний, целиком исходя из идей **Ч.Дарвина**, спустя семь лет после публикации “Происхождения видов путем естественного отбора” (1859).

В программной речи “О пути развития и задаче зоологии”, произнесенной в 1869 году, Геккель сказал: “Под экологией мы подразумеваем науку об экономии, домашнем быте животных организмов. Она исследует общие отношения животных как к их неорганической, так и органической среде, их дружественные и враждебные отношения к другим животным и растениям, с которыми они вступают в прямые и не прямые контакты, или, одним словом, все те запутанные взаимоотношения, которые Ч.Дарвин условно обозначил как борьбу за существование”.

Однако термин “экология” получил признание у научной общественности только в конце века.

Американский ученый **С.Форбс** привел развернутое определение экологии в 1895 г.: “Это очень обширный, сложный и важный предмет. Однако обширность и значение его мы увидим лишь тогда, когда поймем, что к нему относится все учение Дарвина, с одной стороны, и что все сельское хозяйство зависит от него с другой. Он включает действительно широкую сферу активной жизни и все формы материи и энергии в их влиянии тем или иным путем на живых существ”.

В начале XX столетия оформились и начали развиваться экологические школы ботаников, зоологов, гидробиологов и т.д. **На III ботаническом конгрессе в Брюсселе в 1910 г.** экология растений официально разделась на экологию особей (аутэкология) и экологию сообществ (синэкология). Это деление распространилось на общую экологию и экологию животных.

В 1913-1920 гг. вышли экологические труды **В. Шелфорда**, **Ч. Адамса**, **С.А. Зернова** (1871-1945), организованы экологические научные общества, журналы, экологию стали преподавать в университетах.

Труды многих выдающихся исследователей позволили создать совокупность знаний, идей, концепций, законов, которые являются фундаментом экологии. В 20-40-х годах сложился понятийный аппарат, были выработаны основные методологические подходы.

В последние десятилетия этот термин приобрел особую популярность.

Во второй половине XX века экология как наука развивается особенно бурно, поскольку антропогенные изменения окружающей среды приобрели такие размеры, что человек прямо или косвенно сам стал их жертвой.

Как отмечает академик **А.Л.Яншин** (р. 1911), даже вторая мировая война с ее колоссальными негативными последствиями не нарушила сложившегося в природе равновесия. Однако затем положение в корне изменилось. Начался бурный рост численности населения, причем росло число городских жителей. Это вызвало увеличение урбанизированных площадей, включая свалки, дороги, проселки и т.д., что привело к деградации природы, резко сократило ареалы распространения многих растений и животных из-за вырубki лесов, роста поголовья скота, применения гербицидов, пестицидов, удобрений. Возникла проблема захоронения ядерных отходов и много проблем, о которых будет сказано ниже.

В июне 1972 г. Организация Объединенных Наций созвала и провела в Стокгольме первое международное совещание по окружающей человека антропогенно измененной природной среде. Было принято решение о создании постоянно действующей международной организации по охране окружающей среды (ЮНЕП) - Программы ООН по окружающей среде (The United Nations Environmental Programme - UNEP). Она действует и в настоящее время.

После этого совещания термин “экология”, который употреблялся сравнительно узким кругом биологов, стал быстро распространяться в средствах массовой информации. Интерес к проблемам экологии вызвал ее бурное развитие. У науки появились различные направления, которые постоянно углубляются и расширяются. Прослеживается тенденция превращения экологии в синтетическую науку, или даже в самостоятельную отрасль естествознания.

Структура современной экологии представлена на рис. 1 (по Реймерсу, 1992).

Основой всех современных “экологий” является биология или общая экология (фундаментальная экология), изучающая всю природу в целом, уровни организации жизни на Земле, устойчивость живой природы и т.д.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ

Экология - раздел биологической науки (биоэкология) о взаимоотношениях между организмами и средой обитания.

Биологическая наука - наука о живом, предметом которой является познание сущности, происхождения, развития и многообразия жизни.

Жизнь - в самом общем смысле есть *активное, идущее с затратой полученной извне энергии, поддержание (за счет постоянного обмена веществ и энергии с окружающей средой) и матричное воспроизведение специфической и упорядоченной структуры.*

Жизнь - это качественно особая форма существования материи, связанная с самовоспроизведением. **“Все живое происходит только от живого” (принцип Реди).** Процесс обеспечивается передачей генетической информации от поколения к поколению (“подобное рождает подобное”).

Свойствами живого является кроме самовоспроизведения специфичность организации, упорядоченность структуры, целостность и дискретность, рост и развитие, обмен веществ и энергии, наследственность и изменчивость, раздражимость, движение, внутренняя регуляция, специфичность взаимодействия со средой обитания.

Специфичность взаимоотношений со средой заключается в том, что каждый организм живет в условиях определенной среды, из которой он получает все необходимое для жизни, т.е. имеет свою экологическую нишу.

Экологическая ниша - область многомерного пространства (гиперпространство) базовых, ортогональных переменных, в совокупности отображающих ресурсы и условия среды, соответствующая устойчивому существованию вида, популяции, организма.

Размер способности природного или природно-антропогенного окружения (среды) обеспечивать нормальную жизнедеятельность определенному числу организмов и их сообществ без заметного нарушения самого окружения - называется **емкостью среды.**

Под **нормальной жизнедеятельностью** понимают возможность оптимального питания, дыхания, размножения, убежища и т.п.

Питание представляет процесс потребления, извлечения питательных веществ (энергии) для обеспечения процессов жизнедеятельности организма.

Дыхание - это совокупность протекающих в организме физико-химических и физиологических процессов, которые обеспечивают поступление кислорода и удаление углекислого газа (внешнее дыхание), а также использование кислорода клетками и тканями для окисления органических веществ с освобождением энергии, необходимой для их жизнедеятельности (клеточное или тканевое дыхание); большинство организмов (аэробы) используют для дыхания кислород воздуха.

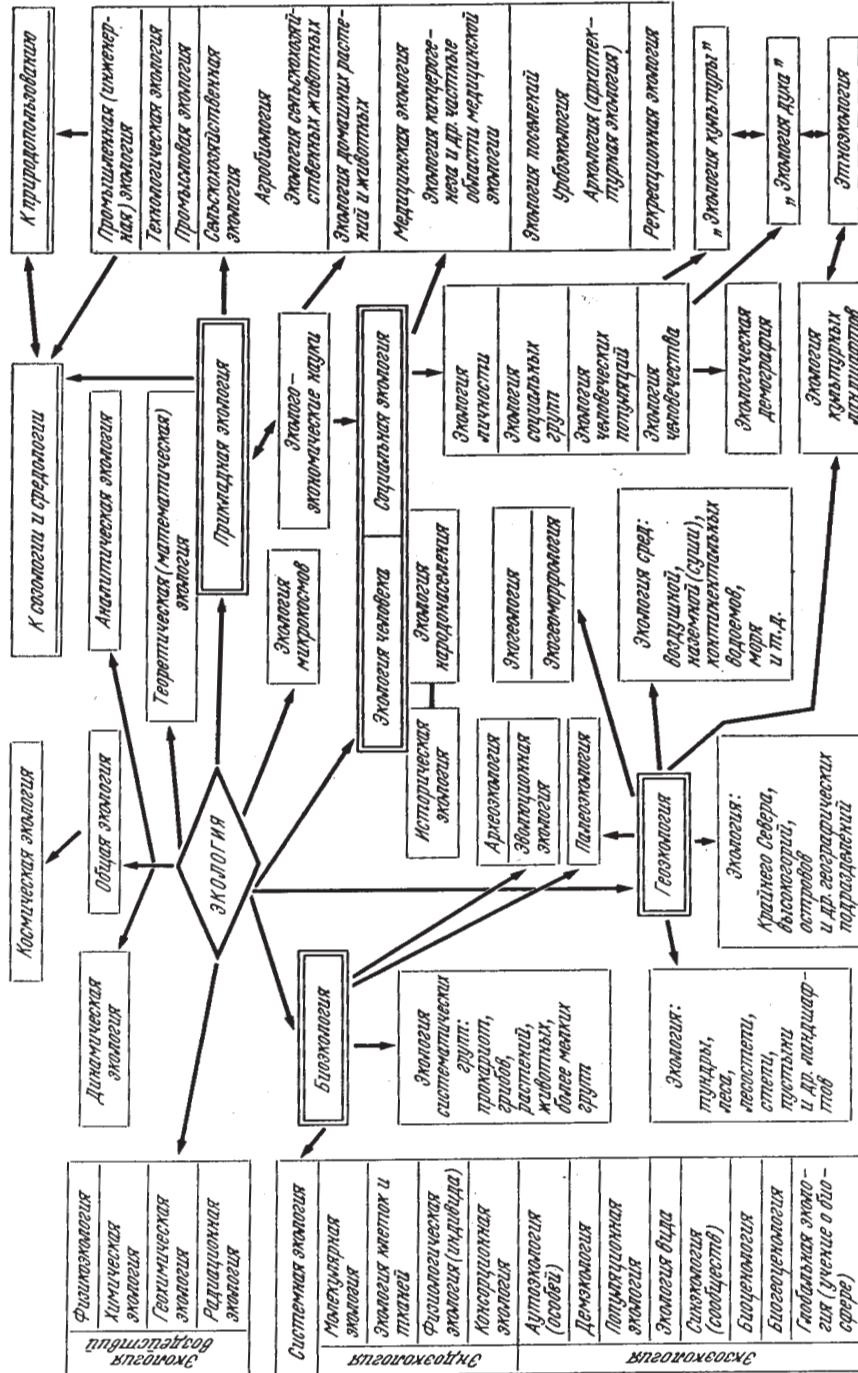


Рис. 1. Структура современной экологии

Размножение есть характерное и обязательное свойство всего живого; воспроизведение себе подобных, обеспечивающее непрерывность и преемственность жизни с ее видовой спецификой и общим физико-химическим единством; различают два основных типа размножения: бесполое и половое. Все живое обладает огромной способностью размножения.

Бесполое размножение - это когда одна родительская особь дает начало двум или большему числу новых особей, идентичных по наследственным признакам родительской особи. Разновидностью бесполого размножения является вегетативное размножение.

Половое размножение. В нем обычно участвуют две особи, каждая из них дает половую клетку - гамету (у высших организмов женские и мужские половые клетки - яйцеклетка и сперматозоид), несущую различные наследственные признаки. При оплодотворении гаметы копулируют, образуя зиготу, в которой сочетаются наследственные признаки обоих родителей; у некоторых групп живого происходит чередование типов размножения - полового и бесполого. Каждому виду, его популяции свойственна определенная интенсивность размножения, меняющаяся в зависимости от условий существования.

Любым организмам свойственна специфическая организация. В результате этого они имеют определенную форму и размеры (фенотип), зависящие от взаимодействия генотипа и среды обитания.

Организмы не "разбросаны" случайно в пространстве. Они "собраны" в популяции, а популяции - в сообщества или биоценозы. Последние вместе с абиотическими факторами формируют экологические системы или биогеоценозы, которые являются элементарными единицами биосферы.

Жизнь целостна и в то же время дискретна. Органический мир целостен, поскольку существование одних организмов зависит от других. В то же время он дискретен, складываясь из отдельных организмов.

Обмен веществ - это совокупность химических процессов, протекающих в клетках и обеспечивающих связь организмов с окружающей средой, что является условием поддержания их жизни.

Обмен веществ и энергии в клетках ведет к восстановлению (замене) разрушенных структур, росту и развитию организма. Поскольку организмы представляют собой открытые системы, через которые проходят непрерывные потоки веществ и энергии, это приводит к самовозобновлению на всех уровнях организации живого, конечным результатом которого является рост и развитие организмов.

Благодаря раздражимости организмы уравниваются со средой. Избирательно реагируя на факторы среды (таксисы, рефлексы и т.д.), организмы "уточняют" свои отношения с ней, в результате чего возникает единство среды и организма.

Между организмами и средой, живой и неживой природой существует единство, заключающееся в том, что организмы зависят от среды, а среда изменяется благодаря жизнедеятельности организмов на протяжении всего исторического развития жизни. Результатом жизнедеятельности организмов является возникновение атмосферы со свободным кислородом и почвенного покрова Земли, образование в прошлые эпохи угля, торфа, нефти и т.д.

Суммарный химический состав живых организмов во многом отличается от состава атмосферы и литосферы. Он ближе к химическому составу гидросферы по абсолютному преобладанию атомов водорода и кислорода, но, в отличие от гидросферы, в организмах относительно велика доля углерода, кальция и азота. Живое вещество в основном состоит из элементов, являющихся водными и воздушными мигрантами, т.е. образующих газообразные и растворимые соединения. Заслуживает внимания то обстоятельство, что

99,9% массы живых организмов приходится на те 14 элементов, которые преобладают и в земной коре, составляя в ней 98,9%, хотя и в других соотношениях. Таким образом, жизнь это химическое производное земной коры. В организмах обнаружены почти все элементы таблицы Менделеева, т.е. они характеризуются той же химией, что и неживая природа.

Биохимические процессы, осуществляющиеся в организмах, представляют собой сложные, организованные в циклы цепи реакций. На воспроизведение их в неживой природе потребовались бы огромные энергетические затраты. В живых организмах они протекают при посредстве белковых катализаторов-ферментов, повышающих энергию активации молекул на несколько порядков. Так как материалы и энергию для обменных реакций живые существа черпают в окружающей среде, они преобразуют среду уже только тем, что живут.

В.И.Вернадский подчеркивал, что живое вещество - самая активная форма материи во Вселенной. Оно производит гигантскую геохимическую работу в биосфере, полностью преобразовав верхние оболочки Земли за время своего существования.

Вернадский Владимир Иванович (1868-1945) выдающийся русский ученый-геохимик, основоположник учения о биосфере, изложенного в монографиях "Биосфера" (1926) и "Несколько слов о ноосфере" (1944).

В отличие от своих современников-натуралистов начала XX века, считавших, что вечный удел организмов - приспособление к обстановке, создаваемой могучими силами природы, В.И.Вернадский доказал, что живое вещество планеты выступает как мощнейший геологический фактор, способный изменять поверхность планеты и формировать экосистемы, благоприятные для его развития. По В.И.Вернадскому живое вещество обладает способностью захватывать энергию Солнца и создавать химические соединения, распад которых сопровождается выделением энергии, производящей химическую и физическую работу.

Грандиозная работа на Земле произведена **молекулой хлорофилла**, посредством которой при наличии солнечной энергии зеленые растения синтезируют углеводы и др. органические соединения. В результате разложения H_2O выделяется свободный O_2 . Ежегодно растения производят 320 млрд. т O_2 ; за 3700 лет производится все количество O_2 , находящегося в атмосфере Земли - $1,2 \cdot 10^{15}$ тонн. Живое вещество обладает способностью быстро распространяться в пространстве, занимая все пригодные для жизни участки. Это явление Вернадский назвал "давление жизни" и сравнил его с давлением газа. Скорость "растекания" жизни исключительно велика.

В живом веществе абсолютно преобладает фитомасса; много меньше роль зоомассы и микроорганизмов. Общий вес живого вещества на Земле оценивается в триллион тонн. Подавляющая часть фитомассы сосредоточена на материках, где она распределена крайне неравномерно: ее много в тропических лесах (650 т/га), в тайге (300 т/га), меньше в черноземных степях (10 т/га), мало в пустынях (2,5 т/га). Большая часть живого вещества представлена лесами (82%).

В океане преобладает зоомасса и микробиомасса - 30 млрд. т; фитомасса составляет лишь 1,1 млрд. т. По количеству живого вещества океан близок к пустыням (3 т/га), но в нем наблюдаются зоны резкого сгущения жизни - в Саргассовом море, на отмелях шельфа, у коралловых рифов и т.д. Ежегодная продукция живого вещества на Земле - 230 млрд т., из них на материках - 170 млрд т, в океане 60 млрд т. На материках ежегодная средняя продукция биомассы - 11,5 т/га; в океане - 1,7 т/га. Суммарная биомасса суши составляет 97% всей биомассы Земли. На океан приходится лишь 3% биомассы Земли, но интенсивность жизненных циклов в океане значительно выше, чем на суше.

Различают ряд **уровней организации живого**, а именно: молекулярный, клеточный, тканевой, органный, организменный, популяционный, видовой, биоценотический (экосистемный), глобальный (биосферный).

Экология в отличие от других биологических наук изучает уровень организации живого, начиная с организменного и выше, а именно: организменный, популяционный, видовой, биоценотический, биосферный (рис. 2).

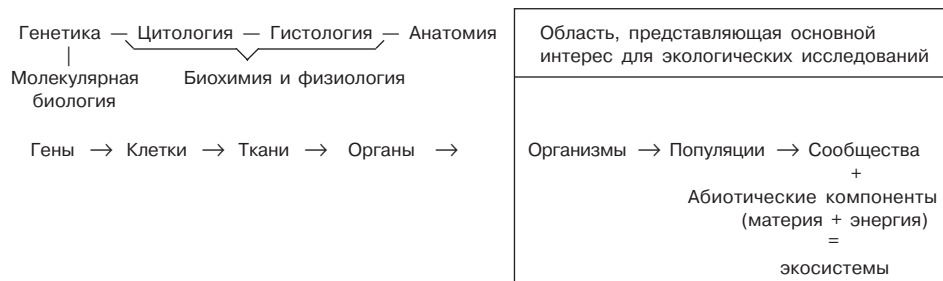


Рис. 2. Уровни организации живого от генов до экосистем

Экология рассматривает организмы, популяции (виды), сообщества или биогеоценозы (фитоценоз, зооценоз, микроценоз, микоценоз) как живой (биотический) компонент системы, называемой экосистемой или биогеоценозом. Экосистема (биогеоценоз) включает кроме живых компонентов еще неживой (абиотический) компонент - физическую среду с ее веществом и энергией.

Различные экосистемы вместе образуют биосферу или экосферу, включающую все живые организмы и всю физическую среду, с которой они взаимодействуют.

Термины - организм, популяция, вид, сообщество или биоценозы, экосистема, биогеоценоз, биосфера, ноосфера имеют в экологии точные определения, которые представлены ниже.

Организм (по В.И.Вернадскому) - система, замкнутая по структуре, иерархически организованная, неравновесная, самоорганизующаяся, открытая по обменам веществом и энергией.

Вид - совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биохимических особенностей, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство.

Особь, индивид - неделимая единица жизни (см. организм).

Популяция - форма существования вида, совокупность особей одного вида, имеющих общий генофонд и населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

Генофонд (популяции) - совокупность генов популяции, группы популяций или вида.

Сообщество - совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых видов в пределах естественно ограниченного жизнепригодного пространства.

Биоценоз - взаимосвязанная совокупность микроорганизмов, растений, грибов и животных, населяющих однородный участок суши или водоема (биотоп).

Биотоп - относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство в пределах водной, наземной, подземной частей биосферы, занятой одним биоценозом. Биотоп - синоним местообитания вида.

Фитоценоз - сообщество растений, исторически сложившееся в результате сочетания взаимодействующих растений на однородном участке территории. Его характеризуют определенный видовой состав, жизненные формы, ярусность надземная и подземная, обилие (частота встречаемости видов), размещение, аспект (внешний вид), жизненность, сезонные изменения развития (смена сообществ).

Зооценоз - сообщество животных.

Микробиоценоз - сообщество микроорганизмов.

Микоценоз - сообщество грибов.

Биогеоценоз - термин введен в 1942 г. В.Н.Сукачевым - устойчивая, саморегулирующаяся, пространственно ограниченная природная система, в которой функционально взаимосвязаны живые организмы и окружающая их абиотическая среда.

Экологическая система (экосистема) - сообщество живых организмов и среды обитания, составляющее единое целое на основе пищевых связей и способов получения энергии. Термин ввел Э.Тэнсли в 1935 г.

Биосфера или экосфера - одна из оболочек (сфер) Земли, состав и энергетика которой в существенных своих чертах определены работой живого вещества. Биосфера включает всю ту наружную область планеты Земля, в которой не только существует жизнь (витафера), но которая в той или иной степени видоизменена или сформирована жизнью. Биосфера включает в себя тропосферу, гидросферу, литосферу. Верхней границей биосферы является озоновый экран (слой). Основоположник современного учения о биосфере - В.И.Вернадский.

Ноосфера - сфера разума - этап эволюции биосферы, который характеризуется ведущей ролью разумной и сознательной деятельности человеческого общества в развитии биосферы.

В соответствии с изучаемым в экологии уровнем организации живого выделяются такие разделы, как аутэкология, синэкология, экология популяций.

Аут(о)экология - раздел экологии, изучающий взаимоотношения отдельного организма со средой обитания.

Задачей аутэкологии (от греч. autos - сам) является установление пределов существования особи (организма) и тех пределов физико-химических факторов, которые организм выбирает из всего диапазона их значений. Изучение реакций организмов на воздействие(я) факторов среды позволяет выявить не только эти пределы, но и физиологические, а также морфологические изменения, характерные для данных особей.

Таким образом, аутэкология изучает взаимоотношения особей с внешней средой. В основе этих отношений лежат морфофизиологические реакции организма на воздействия среды. С изучения этих реакций и начинается любое экологическое исследование. Однако часто неправильно считается, что аутэкология изучает экологию не особей, а видов. Следует отметить, что термин "аутэкология" был введен в 1896 г. Шретером именно для обозначения экологии особей.

Основное внимание при изучении экологии особей уделяется биохимическим реакциям, интенсивности газообмена, водного обмена и другим физиологическим процессам, определяющим состояние организма. При проведении этих исследований широко используются сравнительно-экологический и эколого-географический методы, сопоставляются состояние и реакция организма на внешние воздействия в различные периоды жизни (суточная, сезонная активность). Большое место в аутэкологических исследованиях занимает изучение влияния на организм естественной и искусственной радиоактивности, загрязненности среды, обусловленной индустриальной деятельностью человека.

Экология популяций - раздел экологии, который изучает естественные группировки особей одного вида, т.е. популяций (условия, при которых формируются популяции, внутривидовые группировки и их взаимоотношения, организацию (структуру), динамику численности популяции).

Синэкология - раздел экологии, изучающий сообщества растений, животных, микроорганизмов и их отношения со средой обитания.

2.1. Основные законы экологии

Как любая наука экология выявляет закономерности протекания изучаемых процессов и формулирует их в виде кратких логических и проверенных практикой положений - законов.

Рассмотрим ряд основных законов экологии, всего их установлено около 250 (Реймерс, 1994) законов, закономерностей, правил, принципов.

Закон незаменимости биосферы: биосфера - это единственная система, обеспечивающая устойчивость среды обитания при любых возникающих возмущениях. Нет никаких оснований надеяться на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды в той же степени, что и естественные сообщества.

Закон биогенной миграции атомов (В.И.Вернадского): миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется при непосредственном участии живого вещества - биогенная миграция.

Закон физико-химического единства живого вещества: общебиосферный закон - живое вещество физико-химически едино; при всей разнокачественности живых организмов они настолько физико-химически сходны, что вредное для одних не безразлично для других (например, загрязнители).

Принцип Реди: живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непродолимая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие.

Закон единства "организм-среда": жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потока энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов.

Закон однонаправленности потока энергии: энергия, получаемая сообществом и усваиваемая продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой передается консументам, а затем редуцентам с падением потока на каждом трофическом уровне; поскольку в обратный поток (от редуцентов к продуцентам) поступает ничтожное количество изначально вовлеченной энергии (максимум 0,35%) говорить о "круговороте энергии" нельзя; существует лишь круговорот веществ, поддерживаемый потоком энергии.

Закон необратимости эволюции Л.Долло: организм (популяция, вид) не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков, даже вернувшись в среду их обитания.

Закон (правило) 10 процентов Р.Линдемана: среднемаксимальный переход с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой 10% энергии (или вещества в энергетическом выражении), как правило, не ведет к неблагоприятным последствиям для экосистемы и теряющего энергию трофического уровня.

Закон толерантности (В.Шелфорда): лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору.

Закон оптимума: любой экологический фактор имеет определенные пределы положительного влияния на живые организмы.

Закон ограничивающего фактора (закон минимума Ю.Либи-ха): наиболее значим тот фактор, который больше всего отклоняется от оптимальных для организма значений; от него зависит в данный момент выживание особей; веществом, присутствующим в минимуме управляется рост.

Закон (принцип) исключения Гаузе: два вида не могут существовать в одной и той же местности, если их экологические потребности идентичны, т.е. если они занимают одну и ту же экологическую нишу.

"Законы" экологии Б.Коммонера: 1) все связано со всем; 2) все должно куда-то деваться; 3) природа "знает" лучше; 4) ничто не дается даром.

2.2. Организм и среда

Среда обитания - это та часть природы, которая окружает живой организм и с которой он непосредственно взаимодействует. Составные части и свойства среды многообразны и изменчивы. Любое живое существо живет в сложном и меняющемся мире, постоянно приспособляясь к нему и регулируя свою жизнедеятельность в соответствии с его изменениями.

На нашей планете живые организмы освоили четыре основные среды обитания, сильно различающиеся по специфике условий. Водная среда была первой, в которой возникла и распространилась жизнь. В последующем живые организмы овладели наземно-воздушной средой, создали и заселили почву. Четвертой специфической средой жизни стали сами живые организмы, каждый из которых представляет собой целый мир для населяющих его паразитов или симбионтов.

Приспособления организмов к среде носят название адаптаций. **Способность к адаптациям** - одно из основных свойств жизни вообще, так как обеспечивает самую возможность ее существования, возможность организмов выживать и размножаться. Адаптации проявляются на разных уровнях: от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экологических систем. Адаптации возникают и изменяются в ходе эволюции видов.

Отдельные свойства или элементы среды, воздействующие на организмы, называются **экологическими факторами**. Факторы среды многообразны. Они могут быть необходимы или, наоборот, вредны для живых существ, способствовать или препятствовать выживанию и размножению. Экологические факторы имеют разную природу и специфику действия. Экологические факторы делятся на абиотические и биотические.

Биотические факторы - это формы воздействия живых существ друг на друга. Каждый организм постоянно испытывает на себе прямое или косвенное влияние других существ, вступает в связь с представителями своего вида и других видов - растениями, животными, микроорганизмами, зависит от них и сам оказывает на них воздействие. Окружающий органический мир - составная часть среды каждого живого существа.

Взаимные связи организмов - основа существования биоценозов и популяций; рассмотрение их относится к области синэкологии.

Абиотические факторы - это все свойства неживой природы, которые прямо или косвенно влияют на живые организмы: к ним относятся физические и химические факторы.

Физические факторы неживой природы: космические, климатические, почвенные, орографические, геологические.

К химическим факторам неживой природы принадлежат компоненты воздуха, воды, кислотность (рН) и другие примеси промышленного происхождения.

В космических факторах неживой природы представлены космическая пыль, метеоритное вещество, астероиды, вещества и волны

галактического пространства, циклические изменения солнечной активности.

Солнечная активность - это выброс плазмы, усиление коротковолнового и радиоизлучения с поверхности Солнца, что изучается гелиобиологией.

Гелиобиология - (от греч. хелиос - Солнце) - исследует влияние солнечной активности на жизненные процессы Земли: от возникновения эпидемий и всплесков рождаемости до крупных климатических преобразований. Основоположником этой науки является русский ученый **А.Л.Чижевский** (1897-1964).

К климатическим факторам относятся лучистая энергия Солнца, приход и перераспределение, поглощение, отражение (альbedo) солнечной энергии в разных районах земного шара, прозрачность атмосферы, освещенность земной поверхности, продолжительность светового дня, влажность воздуха, атмосферные осадки, движение воздушных масс (ветер).

Орографические (геоморфологические) факторы. Геоморфология - наука о рельефе. Рельеф местности может значительно влиять на микроклиматические и почвенные факторы (например, горы, ущелья, каньоны, низины и т.д.).

Абиотические факторы водной среды включают плотность, вязкость, теплоемкость, соленость, прозрачность, кислотность, растворенные газы, подвижность, температурную стратификацию (градиент), температурный режим.

Антропогенные факторы - это формы деятельности человеческого общества, которые приводят к изменению природы как среды обитания других видов или непосредственно сказываются на их жизни. В ходе истории человечества развитие сначала охоты, а затем сельского хозяйства, промышленности, транспорта сильно изменило природу нашей планеты. Значение антропогенных воздействий на весь живой мир Земли продолжает стремительно возрастать.

Хотя человек влияет на живую природу через изменение абиотических факторов и биотических связей видов, деятельность людей на планете следует выделять в особую силу, не укладывающуюся в рамки классификации. В настоящее время практически вся судьба живого покрова Земли и всех видов организмов находится в руках человеческого общества, зависит от антропогенного влияния на природу.

Экологические факторы среды оказывают на живые организмы различные воздействия, т.е. могут влиять как раздражители, вызывающие приспособительные изменения физиологических и биохимических функций; как ограничители, обуславливающие невозможность существования в данных условиях; как модификаторы, вызывающие анатомические и морфологические изменения организмов; как сигналы, свидетельствующие об изменениях других факторов среды.

Несмотря на большое разнообразие **экологических факторов**, в характере их воздействия на организмы и в ответных реакциях живых существ можно выявить **ряд общих закономерностей**.

1. Закон оптимума. Каждый фактор имеет лишь определенные пределы положительного влияния на организмы. Результат действия переменного фактора зависит прежде всего от силы его проявления. Как недостаточное, так и избыточное действие фактора отрицательно сказывается на жизнедеятельности особей. Благоприятная сила воздействия называется зоной оптимума экологического фактора или просто оптимумом для организмов данного вида. Чем сильнее отклонение от оптимума, тем больше выражено угнетающее действие данного фактора на организмы (зона пессимума). Максимально и минимально переносимые значения фактора - это критические точки, за пределами которых существование уже невозможно, наступает смерть. Пределы выносливости между критическими точками называют

экологической валентностью живых существ по отношению к конкретному фактору среды.

Представители разных видов сильно отличаются друг от друга как по положению оптимума, так и по экологической валентности. Одна и та же сила проявления фактора может быть оптимальной для одного вида, пессимальной - для другого и выходить за пределы выносливости для третьего.

Широкую экологическую валентность вида по отношению к абиотическим факторам среды обозначают добавлением к названию фактора приставки "эври". Эвритермные виды - выносящие значительные колебания температуры, эврибатные - широкий диапазон давления, эвригалинные - разную степень засоления среды.

Неспособность переносить значительные колебания фактора, или узкая экологическая валентность, характеризуется приставкой "стено" - стенотермные, стенобатные, стеногалинные виды и т.д. В более широком смысле слова виды, для существования которых необходимы строго определенные экологические условия, называют стенобатными, а те, которые способны приспосабливаться к разной экологической обстановке - эврибатными.

2. Неоднозначность действия фактора на разные функции. Каждый фактор неодинаково влияет на разные функции организма. Оптимум для одних процессов может являться пессимумом для других. Для многих рыб температура воды, оптимальная для созревания половых продуктов, неблагоприятна для икрометания, которое происходит при другом температурном интервале.

Жизненный цикл, в котором в определенные периоды организм осуществляет преимущественно те или иные функции (питание, рост, размножение, расселение и т.п.), всегда согласован с сезонными изменениями комплекса факторов среды. Подвижные организмы могут также менять места обитания для успешного осуществления всех своих жизненных функций.

3. Изменчивость, вариабельность и разнообразие ответных реакций на действие факторов среды у отдельных особей вида. Степень выносливости, критические точки, оптимальные и пессимальные зоны отдельных индивидуумов не совпадают. Эта изменчивость определяется как наследственными качествами особей, так и половыми, возрастными и физиологическими различиями. Например, у бабочки мельничной огневки - одного из вредителей муки и зерновых продуктов - критическая минимальная температура для гусениц - 7°C , для взрослых форм - 22°C , а для яиц - -27°C . Мороз в -10°C губит гусениц, но не опасен для имаго и яиц этого вредителя. Следовательно, **экологическая валентность вида всегда шире экологической валентности каждой отдельной особи.**

4. К каждому из факторов среды виды приспосабливаются относительно независимым путем. Степень выносливости к какому-нибудь фактору не означает соответствующей экологической валентности вида по отношению к остальным факторам. Например, виды, переносящие широкие изменения температуры, совсем не обязательно должны также быть приспособленными к широким колебаниям влажности или солевого режима. Эвритермные виды могут быть стеногалинными, стенобатными или наоборот. Экологические валентности вида по отношению к разным факторам могут быть очень разнообразными. Это создает чрезвычайное многообразие адаптаций в природе. Набор экологических валентностей по отношению к разным факторам среды составляет **экологический спектр вида.**

5. Несовпадение экологических спектров отдельных видов. Каждый вид специфичен по своим экологическим возможностям. Даже у близких по способам адаптации к среде видов существуют различия в отношении к какому-либо отдельным факторам.

Правило экологической индивидуальности видов сформулировал русский ботаник Л.Г.Раменский (1924) применительно к растениям, а затем это было широко подтверждено и зоологическими исследованиями.

6. Взаимодействие факторов. Оптимальная зона и пределы выносливости организмов по отношению к какому-либо фактору среды могут смещаться в зависимости от того, с какой силой и в каком сочетании действуют одновременно другие факторы. Эта закономерность получила название взаимодействия факторов. Например, жару легче переносить в сухом, а не во влажном воздухе. Таким образом, один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие. Наоборот, один и тот же экологический результат может быть получен разными путями. Например, увядание растений можно приостановить как увеличением количества влаги в почве, так и снижением температуры воздуха, уменьшающего испарение. Создается эффект частичного взаимозамещения факторов.

Вместе с тем взаимная компенсация действия факторов среды имеет определенные пределы, и полностью заменить один из них другим нельзя. Полное отсутствие воды или хотя бы одного из основных элементов минерального питания делает жизнь растения невозможной, несмотря на самые благоприятные сочетания других условий.

Если хотя бы один из экологических факторов приближается или выходит за пределы критических величин, то, несмотря на оптимальное сочетание остальных условий, особям грозит гибель. Такие сильно уклоняющиеся от оптимума факторы приобретают первостепенное значение в жизни вида или отдельных его представителей в каждый конкретный отрезок времени.

Лимитирующий фактор (условие) - это любой фактор (условие), приближающийся к пределу толерантности, или превышающий его.

Толерантность экологическая есть способность организма переносить отклонения экологических факторов от оптимальных для себя; область устойчивого существования вида и/или реализации какой-либо его функции по отношению к конкретному фактору среды или их сочетанию.

Устойчивость вида - способность вида сохранять функционирование в пределах естественного колебания его параметров.

Гомеостаз - состояние внутреннего динамического равновесия природной системы (организма, вида), поддерживаемое регулярным возобновлением ее основных структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией ее компонентов.

Саморегуляция - свойство системы в процессе функционирования сохранять на определенном уровне типичное состояние, режимы, характеристики связей между ее компонентами.

Компоненты природной системы - основные составные ее части, тесно связанные между собой; при изменении одного из компонентов изменяются другие и возникают "цепные реакции".

Ограничивающие факторы среды определяют географический ареал вида. Природа этих факторов может быть различной. Так, продвижение вида на север может лимитироваться недостатком тепла, в аридные районы - недостатком влаги или слишком высокими температурами. Ограничивающим распространение фактором могут служить и биотические отношения, например, занятость территории более сильным конкурентом или недостаток опылителей для растений.

Закон Либиха (закон минимума) - "веществом, присутствующим в минимуме, управляется урожай" и **закон Шелфорда (закон толерантности)** - "любой организм имеет верхние и нижние границы устойчивости (толерантности) к любому экологическому фактору" - являются **фундаментальными основополагающими законами экологии**.

2.3. Поток энергии и круговорот питательных веществ

Организмы в экосистеме связаны общностью энергии и питательных веществ и необходимо четко разграничить эти два понятия.

Энергия определяется как способность совершать работу. Живые организмы нуждаются в энергии для поддержания жизни точно так же, как машины для того, чтобы работать. Всю экосистему можно уподобить единому механизму, потребляющему энергию и питательные вещества для совершения работы. Питательные вещества первоначально происходят из абиотического компонента системы, в который в конце концов и возвращаются либо в качестве отходов жизнедеятельности, либо после гибели и разрушения организмов. Таким образом, в экосистеме происходит постоянный круговорот питательных веществ, в котором участвуют живые и неживые компоненты. Такие круговороты называются **биогеохимическими циклами**.

Движущей силой этих круговоротов служит в конечном счете энергия Солнца. Фотосинтезирующие организмы непосредственно используют энергию солнечного света и затем передают ее другим представителям биотического компонента. В итоге создается поток энергии и питательных веществ через экосистему, как показано на рис. 3. Необходимо еще отметить, что климатические факторы абиотического компонента, такие как температура, движение атмосферы, испарение и осадки, тоже регулируются поступлением солнечной энергии.

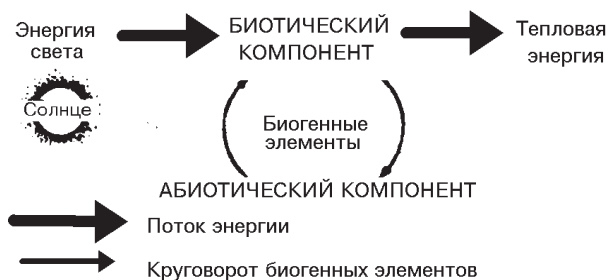


Рис.3 Поток энергии и круговороты биогенных элементов в экосистеме

Для того чтобы понять, почему имеет место линейный поток энергии через экосистему, а не ее круговорот и повторное использование (как в случае питательных веществ), необходимо коротко рассмотреть термодинамические соображения.

Энергия может существовать в виде различных взаимопревращаемых форм, таких как механическая, тепловая и электрическая энергия. *Переход одной формы в другую, называемый преобразованием энергии, подчиняется законам термодинамики.* Первый закон термодинамики, **закон сохранения энергии**, гласит, что энергия может превращаться из одной формы в другую, но не может быть создана или уничтожена. Второй закон утверждает, что при совершении работы энергия не может быть использована на все 100% и часть ее неизбежно превращается в тепло. Тепло есть результат случайного движения молекул, тогда как работа всегда означает неслучайное (т.е. упорядоченное) использование энергии. Понятие "работы" приложимо к любому процессу, протекающему в живой системе с потреблением энергии, начиная от процессов на клеточном уровне, таких как поддержание

электрических градиентов на мембране и синтез белков, и кончая процессами на уровне целого организма (рост, развитие, репарация, размножение).

Таким образом, живые организмы - это преобразователи энергии, и каждый раз, когда происходит превращение энергии, часть ее теряется в виде тепла. В конце концов вся энергия, поступающая в биотический компонент экосистемы, рассеивается в виде тепла. Можно было бы подумать, что, поскольку и тепло способно совершать работу (например, в паровозе), то нет причин, которые мешали бы круговороту тепла. Однако процесс, производящий тепло, требует больше энергии, чем может быть возвращено путем вторичного использования этого тепла, поэтому в целом происходит все же потеря полезной энергии в системе. Фактически живые организмы не используют тепло как источник энергии для совершения работы - они используют свет и химическую энергию.

Изучение потока энергии через экосистемы называется **энергетикой экосистем** и так как это доминирующая тема в их изучении, нам важно познакомиться с единицами, используемыми для измерения энергии.

2.4. Пищевые цепи и трофические уровни

Внутри экосистемы содержащие энергию органические вещества создаются автотрофными организмами и служат пищей (источником вещества и энергии) для гетеротрофов. Типичный пример: животное поедает растения. Это животное в свою очередь может быть съедено другим животным, и таким путем может происходить перенос энергии через ряд организмов - каждый последующий питается предыдущим, поставляющим ему сырье и энергию. Такая последовательность называется **пищевой цепью**, а каждое ее звено - **трофическим уровнем** (греч. trophos - питание). Первый трофический уровень занимают автотрофы, или так называемые **первичные продуценты**. Организмы второго трофического уровня называются **первичными консументами**, третьего - **вторичными консументами** и т.д. Обычно бывает четыре или пять трофических уровней и редко больше шести.

Первичные продуценты. Первичными продуцентами являются автотрофные организмы, в основном зеленые растения, некоторые прокариоты, а именно сине-зеленые водоросли, и многочисленные виды бактерий, которые тоже фотосинтезируют, но их вклад относительно невелик. Фотосинтетики превращают солнечную энергию (энергию света) в химическую энергию, заключенную в органических молекулах, из которых построены их ткани. Небольшой вклад в продукцию органического вещества вносят и хемосинтезирующие бактерии, извлекающие энергию из неорганических соединений.

В водных экосистемах главными продуцентами являются водоросли - часто мелкие одноклеточные организмы, составляющие фитопланктон поверхностных слоев океанов и озер. На суше большую часть первичной продукции поставляют более высокоорганизованные формы, относящиеся к голосеменным и покрытосеменным. Они формируют леса и луга.

Первичные консументы. Первичные консументы питаются первичными продуцентами, т.е. это **травоядные животные**. На суше типичными травоядными являются многие насекомые, рептилии, птицы и млекопитающие. Наиболее важные группы травоядных млекопитающих - это грызуны и копытные. К последним относятся пастбищные животные (такие как лошади, овцы, крупный рогатый скот), приспособленные к бегу на кончиках пальцев.

В водных экосистемах (пресноводных и морских) травоядные формы представлены обычно моллюсками и мелкими ракообразными. Большинство

этих организмов - ветвистоусые и веслоногие рачки, личинки крабов, усоногие раки и двустворчатые моллюски (например, мидии и устрицы) - питаются, отфильтровывая мельчайших первичных продуцентов из воды.

Консументы второго и третьего порядка. Вторичные консументы питаются травоядными; таким образом, это уже плотоядные животные, так же как и третичные консументы, поедающие консументов второго порядка. Консументы второго и третьего порядка могут быть **хищниками** и охотиться, схватывать и убивать свою жертву, могут питаться падалью или быть паразитами. В последнем случае они по величине меньше своих хозяев.

Редуценты и детритофаги (детритные пищевые цепи). Существуют два главных типа пищевых цепей - пастбищные и детритные. Выше мы привели примеры пастбищных цепей, в которых первый трофический уровень занимают зеленые растения, второй - пастбищные животные (термин "пастбищные" используется в широком смысле и включает все организмы, питающиеся растениями) и третий - хищники. Тела погибших растений и животных еще содержат энергию и "строительный материал" так же, как и прижизненные выделения, например моча и фекалии. Эти органические материалы разлагаются микроорганизмами, а именно грибами и бактериями, живущими как сапрофиты на органических остатках. Такие организмы называются **редуцентами**. Они выделяют пищеварительные ферменты на мертвые тела или отходы жизнедеятельности и поглощают продукты их переваривания. Скорость разложения может быть различной.

Кусочки частично разложившегося материала называют детритом, и многие мелкие животные (детритофаги) питаются им, ускоряя процесс разложения. Поскольку в этом процессе участвуют как истинные редуценты (грибы и бактерии), так и детритофаги (животные), и тех и других иногда называют редуцентами, хотя в действительности этот термин относится только к сапрофитным организмам.

В схемах пищевых цепей каждый организм бывает представлен как питающийся другими организмами какого-то одного типа. Однако реальные пищевые связи в экосистеме намного сложнее, так как животное может питаться организмами разных типов из одной и той же пищевой цепи или даже из разных пищевых цепей. Это в особенности относится к хищникам верхних трофических уровней. Некоторые животные питаются как другими животными, так и растениями, их называют **всеядными** (таков, в частности, человек). В действительности пищевые цепи переплетаются таким образом, что образуется пищевая (трофическая) сеть.

Для изучения взаимоотношений между организмами в экосистеме и для графического представления этих взаимоотношений удобнее использовать не схемы пищевых сетей, а **экологические пирамиды**. При этом сначала подсчитывают число различных организмов на данной территории, сгруппировав их по трофическим уровням. После таких подсчетов становится очевидным, что численность животных прогрессивно уменьшается при переходе от второго трофического уровня к последующим. Численность растений первого трофического уровня тоже нередко превосходит численность животных, составляющих второй уровень. Это можно отобразить в виде **пирамиды численности**.

Для удобства количество организмов на данном трофическом уровне может быть представлено в виде прямоугольника, длина которого пропорциональна числу организмов, обитающих на данной площади (или в данном объеме, если это водная экосистема).

Хищники, расположенные на высшем трофическом уровне, называются **конечными хищниками**. Существует ряд неудобств, связанных с использованием этих пирамид.

Неудобств, связанных с использованием пирамид численности, можно избежать путем построения **пирамид биомассы**, в которых учитывается суммарная масса организмов (биомасса) каждого трофического уровня. Определение биомассы включает не только учет численности, но и взвешивание отдельных особей, так что это более трудоемкий процесс, требующий больше времени и специального оборудования.

Наиболее фундаментальным и в определенном смысле идеальным способом отображения связей между организмами на разных трофических уровнях служит **пирамида энергии**, обладающая рядом преимуществ.

1. Она отражает скорость увеличения биомассы в отличие от пирамид численности и биомассы, описывающих только текущее состояние организмов в отдельный момент времени. Каждая ступенька пирамиды энергии отражает количество энергии (на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за определенный период.

2. При одинаковой биомассе два вида совсем не обязательно содержат одинаковое количество энергии. Поэтому сравнение, основанное на биомассе, может ввести в заблуждение.

3. Пирамиды энергии позволяют сравнивать не только различные экосистемы, но и относительную значимость популяций внутри одной экосистемы, не получая при этом перевернутых пирамид.

4. К основанию пирамиды энергии можно добавить еще один прямоугольник, отображающий поступление солнечной энергии.

Хотя пирамиды энергии - наиболее полезный из трех типов экологических пирамид, получать данные для их построения труднее всего, так как при этом требуется даже больше измерений, чем при построении пирамид биомассы. В частности, необходима дополнительная информация об энергетической стоимости данных масс организмов, а это требует сжигания репрезентативных выборок. На практике же пирамиды энергии иногда могут быть с достаточной достоверностью получены из пирамид биомассы путем пересчета, основанного на проведенных ранее экспериментах.

Продуктивность. Скорость накопления энергии первичными продуцентами в форме органического вещества, которое может быть использовано в пищу, называется **первичной продуктивностью**. Это важный параметр, так как им определяется общий поток энергии через биотический компонент экосистемы, а значит, и количество (биомасса) живых организмов, которые могут существовать в экосистеме. Количество солнечного света, падающего на растения, различно. Оно зависит от географической широты и от степени развития растительного покрова. Примерно 95-99% этого количества сразу отражается, поглощается с переходом в тепло или расходуется на испарение воды, и лишь 1-5% поглощается хлорофиллом и используется для синтеза органических молекул. Скорость, с которой растения накапливают химическую энергию, называется **валовой первичной продуктивностью** (ВПП). Это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

Животные, как и растения, теряют часть энергии при дыхании. Энергия, оставшаяся после потерь, связанных с процессами дыхания, пищеварения и экскреции, идет на рост, поддержание жизнедеятельности и размножение.

Количество органического вещества, накопленного гетеротрофными организмами, называется **вторичной продукцией** (на любом трофическом уровне). Приведенное ниже словесное уравнение суммирует расход потребленной животным энергии:

Потребленная пища = Рост + Дыхание + Фекалии + Экскреты

Некоторые составляющие этого уравнения нетрудно определить на домашних или диких животных в лабораторных условиях. Показателем роста за какое-то время служит увеличение биомассы или же энергии, заключенной в теле. Фекалии и экскреты можно собрать, взвесить и вычесть их массу из общей массы потребленной пищи, чтобы найти массу усвоенной пищи, использованной для роста и других процессов.

Одна из причин, которые побуждают изучать поток энергии, проходящей через экосистему, - это возможность применения полученных знаний для удовлетворения потребности человека в пище и энергии. Научный анализ позволяет оценивать традиционные методы агротехники и вносить усовершенствования с целью повышения их эффективности.

Рациональное использование экосистемы. “Получение урожая” означает изъятие из экосистемы тех организмов или их частей, которые используются в пищу (или для иных целей). При этом желательно, чтобы экосистема производила пригодную для пищи продукцию наиболее эффективно. Это может быть достигнуто путем повышения урожайности культуры, уменьшения заболеваемости и помех со стороны других организмов или использования культуры, более приспособленной к условиям данной экосистемы.

Уменьшение вреда от насекомых и птиц, а также от болезней достигается выведением генетически устойчивых сортов и применением химических средств, уничтожающих возбудителей болезней и вредителей. Однако такие средства нужно использовать осторожно. Применение стойких препаратов, неспособных быстро разлагаться в экосистеме, может иметь катастрофические последствия на других трофических уровнях. Частое применение эффективного пестицида может вызывать вспышки численности устойчивых к нему форм вредителей, с которыми труднее бороться. Такая ситуация возникла в Африке при попытках контролировать численность малярийного комара с помощью ДДТ.

Большую роль при разведении животных, достигающих половой зрелости через несколько лет, играет концепция **максимального постоянного уровня добычи**. Это наибольшая скорость изъятия особей из популяции без ущерба для ее дальнейшей продуктивности. Для определения этой величины необходимо иметь ясное представление о структуре и динамике популяции, особенно о рождаемости: ведь чем выше рождаемость, тем больше особей можно изымать из популяции. Знание структуры популяции позволяет установить, какие возрастные группы играют наибольшую роль в воспроизводстве стада, и соответственно отбирать для убоя или отлова животных других возрастных групп. В Англии, например, официально установлен минимальный размер ячеек для сетей, которыми можно пользоваться в промысловом рыболовстве. Таким образом, вылавливается более крупная и старая рыба, которая уже дала потомство, а не достигшие половой зрелости особи в сеть, как правило, не попадают. Вылов молодежи привел бы к уменьшению воспроизводства рыбного стада в последующие годы и, таким образом, уменьшил бы размеры популяций в будущем.

Эффекты концентрации веществ в пищевых цепях. После второй мировой войны стало быстро возрастать число различных синтетических веществ, выбрасываемых в окружающую среду. Это прежде всего гербициды и пестициды, предназначенные для уничтожения организмов (особенно, сорняков), наносящих вред урожаю, домашнему скоту и самому человеку.

Среди первых применявшихся с успехом пестицидов была группа хлорированных углеводородов, в том числе ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), диэдрин и алдрин. Эти вещества ядовиты для многих животных и человека, но особенно вредоносны для птиц, рыб и беспозвоночных.

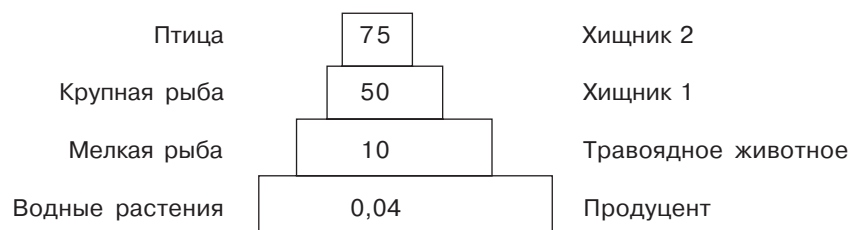


Рис. 4. Количество ДДТ, заключенное в биомассе организмов, находящихся на разных трофических уровнях пищевой цепи

Цифрами выражено количество весовых единиц ДДТ, приходящееся на 1 млн весовых единиц биомассы.

В середине 60-х годов неожиданным для многих ученых явилось сообщение о том, что ДДТ обнаружен в печени пингвинов в Антарктиде - месте, весьма удаленном от районов возможного применения ДДТ.

От отравления пестицидами очень сильно пострадали некоторые хищники верхних трофических уровней, больше всего птицы. Например, из-за отравления ДДТ на востоке США полностью исчез сапсан. Птицы наиболее уязвимы потому, что ДДТ вызывает гормональные изменения, влияющие на обмен кальция. В результате скорлупа откладываемых яиц становится тоньше, и они значительно чаще разбиваются. Содержание ДДТ в жировых тканях человеческого тела достигает в США 12-16 частей на млн, тогда как официально установленный предел допустимого содержания его в пищевых продуктах составляет 7 ч. на млн.

Позже был создан ряд сильнодействующих, но быстро разрушающихся пестицидов, таких, как органофосфаты (например, малатион), и применение ДДТ резко сократилось. Однако производство ДДТ обходится сравнительно дешево, и он по-прежнему остается наиболее пригодным для определенных целей, например, для борьбы с малярией. Решая вопрос о применении пестицидов, мы часто вынуждены из двух зол выбирать меньшее. Благодаря ДДТ во многих районах земного шара удалось полностью искоренить малярию.

2.5. Биогеохимические циклы (круговороты)

Подход к познанию экосистем состоит в исследовании **больших биогеохимических циклов (круговоротов)**, различные фазы которых протекают внутри разных экосистем. Речь идет о циркуляционном движении химических элементов абиотического происхождения, которые характерными для них путями попадают из окружающей среды в организмы и из организмов в окружающую среду. Минеральные элементы проникают в ткани растений и животных в процессе их роста и там входят в состав органических веществ; когда же после смерти организма эти элементы вновь попадают в окружающую среду, они перераспределяются, что сопровождается сложными трансформациями и транслокациями, лишь после этого они попадают в новые организмы.

К главным циклам относят биогеохимические циклы углерода, воды, азота, фосфора, серы, биогенных катионов.

Эти циклы не изучаются во всем их объеме, то есть в масштабе биосферы; их отдельные частные фазы нередко ускользают от нашего внимания, так как протекают внутри мало изученных экосистем и к тому же образуют в них вторичные циклы. Иногда эти вторичные циклы связывают несколько экосистем, обеспечивая тем самым максимальное объединение той огромной системы, которую мы зовем биосферой.

Круговорот углерода. Источники углерода в природе столь же многочисленны, сколь и разнообразны. Между тем только углекислота, находящаяся либо в газообразном состоянии в атмосфере, либо в растворенном состоянии в воде, представляет собой тот источник углерода, который служит основой для переработки его в органическое вещество живых существ. Захваченная растениями, эта углекислота в процессе фотосинтеза превращается в сахар, а другими процессами биосинтеза преобразуется в протеиды, липиды и т.д. Эти различные вещества служат углеводным питанием для животных. С другой стороны, все организмы дышат и выбрасывают в атмосферу углерод в форме углекислоты. Когда же наступает смерть, то сапрофаги и биоредукторы разлагают и минерализуют трупы, образуя цепи питания, в конце которых углерод нередко вновь поступает в круговорот в форме углекислоты ("почвенное дыхание").

В известных условиях накапливающиеся мертвые растительные и животные остатки замедляют круговорот углерода: животные-сапрофаги и сапрофические микроорганизмы, обитающие в почве, превращают накопившиеся на ее поверхности остатки в новое образование органической материи, более или менее мощный слой коричневой или черной массы - **гумус**. Скорость воздействия разлагающих организмов на гумус далеко не одинакова, а цепи грибов и бактерий, приводящие к окончательной минерализации углерода, бывают различной длины; вследствие этого гумус разлагается то более или менее медленно, то более или менее быстро.

Иногда цепь бывает короткой и неполной: цепь сапрофагов лишается возможности функционировать из-за недостатка воздуха или вследствие слишком высокой кислотности; органические остатки накапливаются в форме **торфа** и образуют торфяные болота. В некоторых торфяных болотах с пыльным покровом из сфагнового мха слой торфа достигает мощности 20 м и более. Здесь и приостанавливается круговорот. Скопления ископаемых органических соединений в виде каменного угля и нефти свидетельствуют о **стагнации круговорота** в масштабах геологического времени.

В воде также происходит стагнация круговорота углерода, так как углекислота накапливается в форме CaCO_3 (мел, известняки или кораллы) химического или биогенного происхождения. Часто эти массы углерода оставались вне круговорота в течение целых геологических периодов, пока CaCO_3 в виде горных цепей не поднимался над поверхностью моря. С этого момента начиналось поступление углерода и кальция в круговорот. Оно осуществлялось вследствие выщелачивания известняка атмосферными осадками или под воздействием лишайников, а также корней цветковых растений. Углерод, накопившийся в почве или в горных породах, может быть освобожден и в процессах человеческой деятельности: горение (отопление, промышленность), обжиг извести.

Круговорот азота. Несмотря на величайшую сложность, этот круговорот осуществляется беспрепятственно и быстро.

Воздух, содержащий 80% азота, одновременно служит и огромным вместилищем и предохранительным клапаном системы, он непрерывно и в разных формах питает круговорот азота.

Кроме того, электрические разряды, сопровождающие грозы, синтезируют из атмосферного азота и кислорода окиси азота: эти окиси попадают в почву вместе с дождевыми водами. Таким путем в экосистеме в форме селитры или азотной кислоты накапливается от 4 до 10 кг азота на 1 га в год.

Происходит и фотохимическая фиксация азота.

Однако наибольшие количества этого элемента поступают в экосистему в результате деятельности микроорганизмов - фиксаторов азота. Чаще всего эту функцию осуществляют бактерии, способные использовать энергию своего дыхания для прямого усвоения атмосферного азота и синтеза протеидов. Иногда эти бактерии - аэробы (*Azotobacter*) или анаэробы (*Clostridium*) - действуют изолированно; их трупы обогащают почву органическим азотом, который быстро минерализуется. Таким путем в почву ежегодно вносится еще около 25 кг азота на 1 га.

Наиболее эффективны бактерии, живущие в симбиозе с бобовыми растениями в клубеньках, развивающихся на корнях этих растений. А в присутствии молибдена, который служит катализатором, и особой формы гемоглобина (уникальный случай у растений) эти бактерии (*Rhizobium*) ассимилируют громадные количества молекулярного азота. Образующийся органический азот постоянно диффундирует в ризосферу (ту часть почвы, которая соприкасается с корнями), в особенности когда клубеньки по мере старения распадаются; кроме того, азот в значительном количестве проникает в наземные органы растения-хозяина. Благодаря этому **бобовые** исключительно **богаты протеидами** и очень питательны для травоядных животных. Годовой запас, накапливаемый в наземных и подземных органах этих растений, достигает в культурах клевера и люцерны от 150 до 400 кг/га.

Таким образом, существует возможность поддерживать урожайность полей как введением севооборотов, содержащих бобовые, так и использованием азотных удобрений. Современная агротехника рекомендует вносить под посевы бобовых культур особенно активные формы бактерий из рода *Rhizobium*.

Другие фиксирующие атмосферный азот бактерии также живут в симбиозе с высшими растениями (помимо бобовых). К ним принадлежат бактерии, образующие в тропиках на листьях растений из семейства *Rubiaceae* маленькие черные опухоли, фиксирующие азот, а также актиномицеты, которые в наших широтах создают на корнях ольхи фиксирующие азот узелки, этим объясняется присутствие в ольховниках флоры, богатой типичными нитрофилами.

Наконец, в водной среде и на влажных землях непосредственно фиксацию азота из воздуха осуществляют некоторые сине-зеленые водоросли; эти микроорганизмы, как известно, осуществляют и фотосинтез, следовательно, они наиболее "комплектны". На Востоке они играют большую роль в продуктивности рисовых полей.

Азот из этих разнообразных источников поступает к корням в форме нитратов; последние абсорбируются корнями и транспортируются в листья, где используются для синтеза протеинов.

Эти протеины служат основой азотного питания животных. Протеины растительного и животного происхождения могут также служить пищей некоторым бактериям-паразитам. Протеины используются и после смерти. Трупы наряду с выделениями живых организмов представляют собой основу целой цепи питания организмов, разлагающих органическое вещество, которое постепенно переводит азот из органических в минеральные соединения. Каждая группа биоредукторов специализируется на каком-либо одном звене этого процесса. Цепь заканчивается деятельностью аммонифицирующих организмов, образующих аммиак (NH_3), который далее может войти в цикл нитрификации: *Nitrosomonas* окисляет его в нитрат, а *Nitrobacter* окисляет нитраты в нитриты. Цикл может быть таким образом продолжен.

С другой стороны, бактерии-денитрификаторы постоянно отдают азот в атмосферу: они разлагают нитраты в N_2 , который улетучивается. Однако деятельность этих бактерий не всегда так опасна; они активны лишь в почвах, которые очень богаты азотом и углеродом (в особенности в удобренных навозом), и разлагают как максимум лишь 20% общего азота (ежегодно улетучивается до 50-60 кг азота с 1 га).

Круговорот воды. Вода не только источник кислорода и водорода, но и наиболее значительная составная часть тела живых существ: в теле человека она составляет 60% по весу, а в растительном организме достигает 95%.

Большой круговорот воды на поверхности земного шара хорошо известен - вызываемое солнечной энергией испарение с водных пространств создает атмосферную влагу; эта влага конденсируется в форме облаков, переносимых ветром, охлаждение облаков вызывает осадки в виде дождя и снега; осадки поглощаются почвой или стекают по ее поверхности; вода возвращается в моря и океаны.

Для нас наиболее важны те **фазы** этого **круговорота**, которые происходят **в пределах экосистемы**. Здесь можно выделить четыре процесса: **перехват**, **эвапотранспирация**, **инфильтрация** и **сток**.

Растительность выполняет важную экранизирующую функцию, перехватывая часть выпадающей в осадках воды до того, как она достигнет почвы, и испаряя ее в атмосферу. Этот **перехват**, который, естественно, бывает максимальным при слабых дождях, может в умеренных широтах достигать 25% общей суммы осадков. Вода, которая проникает сквозь кроны и падает в форме капель с листьев или, стекая по стеблям и стволам, достигает почвы, просачивается в нее или присовокупляется к поверхностному стоку. Это порождает некоторую неравномерность в распределении воды в почве, что может оказаться немаловажным для мелких биоценозов, расположенных на ее поверхности.

Часть инфильтрационной воды задерживается в почве, причем тем сильнее, чем значительнее почвенный коллоидальный комплекс (гумус и глина). Та часть воды, которая промывает почву на глубину 20-30 см, может вновь подняться на ее поверхность по капиллярам и испариться.

Корни растений способны всасывать почвенную воду со значительно большей глубины, чем 20-30 см; эта вода, доставленная листьям, транспортируется в атмосферу.

Эвапотранспирацией называют отдачу экосистемой воды в атмосферу; она включает и физически испаряемую воду, и воду, транспируемую биологически.

Количество воды, транспируемой растениями, обычно велико; с улучшением водоснабжения растений транспирация усиливается.

Одна береза испаряет за день 75 л воды, бук - 100 л, липа - 200 л, а 1 га леса - от 20 до 50 тыс. л. Один гектар березняка, масса листьев которого составляет лишь 4940 кг, испаряет 47 л воды в день, тогда как 1 га ельника, масса хвои которого равна 31 тыс. кг, транспирирует лишь 43 тыс. л воды в день. Один гектар пшеницы использует за период развития 3750 т воды, что соответствует 375 мм осадков, а продуцирует 12,5 т (сухой вес) растительного вещества.

Коэффициент транспирации - это количество воды, транспируемой для создания 1 кг сухого вещества за сезон. Этот коэффициент очень велик и колеблется от 300 до 1000 в зависимости от вида растений. Например, для продуцирования 1 т (сухого веса) зерна требуется от 250 до 550 т воды (= 25-55 мм осадков).

Различия, главным образом, зависят от климата: растения в аридных зонах для продуцирования одинаковых количеств сухого вещества потребляют

в два раза больше воды, чем во влажных областях. Согласно “правилу Вальтера”, в семиаридных зонах, где величина годовых осадков ниже 30 см, продуктивность растительного покрова пропорциональна количеству осадков; там создается 1 т сухого вещества на каждые 10 см осадков.

Испарение - хорошо изучено метеорологами; величина его под растительным покровом намного ниже, чем на открытом воздухе, что объясняется экранизирующей ролью растений; оно оценивается в средней Европе в 1 тыс. т на 1 га в год.

Величину эвапотранспирации, которая представляет суммарное количество воды, транспирируемое растениями и испаряемое почвой, можно, следовательно, считать в средней Европе равной 3-7 тыс. т на 1 га в год.

Отличие циклов углерода и азота от круговорота воды состоит в том, что в экосистеме два названных элемента накапливаются и связываются, вода же проходит через нее почти без потерь. Экосистема ежегодно использует на формирование биомассы лишь около 1% воды, выпадающей в виде осадков.

Круговорот фосфора. Описываемый круговорот представляет собой пример очень простого незамкнутого цикла.

Фосфор совершает круговорот в наземных экосистемах в качестве важной и необходимой составной части цитоплазмы; биоредукторы минерализуют органические соединения фосфора отмерших организмов в фосфаты, которые вновь потребляются корнями растений. Громадные запасы фосфора, накопившиеся за прошлые геологические эпохи, содержат горные породы; в процессе разрушения эти породы отдают наземные фосфаты экосистемам; однако значительные количества фосфатов оказываются вовлеченными в круговорот воды, выщелачиваются и увлекаются в море. Здесь они обогащают соленые воды, питают фитопланктон и связанные с ним пищевые цепи. Затем вместе с отмершими остатками фосфаты погружаются в океанические глубины. Часть их, отлагающаяся в пределах досягаемости морских экосистем, используется ими, часть же теряется в глубинных отложениях. Частичный возврат фосфатов на землю возможен с помощью морских птиц (имеется в виду гуано, огромные залежи которого на побережье Перу указывают на то, что некогда морские птицы играли большую роль в его накоплении, чем теперь) и благодаря рыболовству (рыбу используют в качестве удобрения под посевы риса).

Считают, что каждый год таким образом возвращается в круговорот 60 тыс. т фосфора, что далеко не компенсирует расход тех 2 млн. т фосфатов, которые ежегодно добываются из залежей и быстро выщелачиваются при использовании в качестве удобрений.

Рано или поздно положение может стать тревожным, так как “фосфор - это слабое звено в жизненной цепи, обеспечивающей существование человека”.

Круговорот серы. Находящаяся в почве сера представляет собой продукт разложения материнских горных пород, содержащих пириты (серый колчедан FeS) и халькопириты (медный колчедан CuFeS₂), а также продукт разложения органических веществ растительного происхождения. Животные органические вещества содержат очень мало серы.

Корни абсорбируют почвенную серу, которая входит в создаваемые растениями серные аминокислоты (цистин, цистеин, метионин).

После отмирания растений сера возвращается в почву. Это осуществляют многочисленные микроорганизмы; некоторые из них восстанавливают органическую серу в H₂S и минеральную серу, между тем как другие окисляют эти продукты разложения в сульфаты. Последние поглощаются корнями растений, и, таким образом, обеспечивается продолжение круговорота.

Помимо серы органического происхождения, растения могут вводить в цикл значительные количества серы, переносимой воздушными массами и дождевой водой из промышленных районов (дымы). (Этот источник обеспечивает от 2,7 до 260 кг серы на 1 га в год).

Круговорот биогенных элементов. Нами сделан обзор круговорота химических элементов (углерода, азота, водорода, кислорода, фосфора, серы), которые, казалось бы, и формируют полностью живые организмы. Однако эти организмы не смогут жить, если не будут содержать в достаточных количествах некоторые катионы - калий, кальций, магний (и иногда натрий), которые относятся к группе макроэлементов, так как они необходимы в больших количествах (выражающихся в сотых долях сухого вещества), между тем как железо, бор, цинк, медь, марганец, молибден и анион хлора, которые нужны лишь в малых количествах (выражающихся в миллионных долях сухого вещества), относятся к микро- или олигоэлементам.

Абсолютная концентрация этих элементов в почве, а также их относительная концентрация (количество одних в отношении к другим), характеризующая явления антагонизма, играет важную роль в определении состава растительного покрова.

На суше главным источником биогенных катионов служит почва, которая получает их в процессе разрушения материнских пород, но нельзя пренебрегать и приносом их атмосферными осадками, если учесть развитие эпифитов, которые бывают иногда обильны. Катионы абсорбируются корнями, а затем распределяются по различным органам растений, но в наибольших количествах накапливаются в листе. Таким образом они входят в корм растительных и потребителей следующих порядков в цепи питания.

Минерализация экскрементов и трупов возвращает биогенные катионы в почву на уровень расположения корней; создается впечатление, что цикл способен продолжаться беспрерывно, хотя в лесах может происходить временное замедление, вызванное накоплением катионов в древесине и, в особенности, в коре деревьев.

В то же время во влажном климате цикл может быть глубоко противоречивым вследствие того, что почва выщелачивается дождями; дождевые воды переносят катионы в систему подземного стока; оттуда они попадают в поверхностный сток и, наконец, в море, порой в очень значительных количествах. Такое выщелачивание приводит, во-первых, к деградации коллоидального абсорбирующего комплекса, а во-вторых, к ослаблению корневой системы, вследствие чего вторичная абсорбция протекает не так быстро, как нужно. Выщелачивание - автокаталитический процесс: чем больше оно прогрессирует, тем больше деградируют почвенные коллоиды; в областях умеренного климата оно приводит к оподзоливанию, а в тропических - к латеритизации.

Почвы с деградировавшими коллоидами еще более выщелачиваются, а растительность на них все более и более оскудевает; такие условия не мешают, однако, этой скудной растительности быть в некоторых случаях пышной.

Положение может стать особенно тяжелым в тропических местностях, где в силу интенсивного выщелачивания особенно трудно поддерживать природное равновесие; причины этого - ливневые дожди и низкая активность абсорбирующего почвенного комплекса (малое количество гумуса, каолинит). Монокультуры сахарного тростника, кофе, какао, кукурузы, арахиса и пр., переводимые с истощенных почв на более богатые, разрушают продуктивные лесные экосистемы и оставляют после себя экосистемы с очень низкой продуктивностью.

2.6. Иерархия живых систем

Планета Земля уникальна. На ней среди других планет Солнечной системы в тонком слое, где взаимодействуют вода (гидросфера), земля (литосфера) и воздух (атмосфера), обитают живые организмы. Этот слой называется биосферой (по греч. биос - жизнь, сфера - шар).

Биосфера (по В.И.Вернадскому) - область планеты, в которой существует или когда-либо существовала жизнь и которая постоянно подвергается или подвергалась воздействию живых организмов.

Понятие биосферы как сферы обитания живых существ или сферы, занятой жизнью, было предложено австрийским ученым Э.Зюссом в 1875 г. Заслуга создания целостного учения о биосфере принадлежит В.И.Вернадскому. Основы учения изложены в книге "Биосфера" (1926).

Высказанные великим ученым взгляды о ведущей роли живого вещества в образовании современного химического состава атмосферы, гидросферы и части литосферы получили разностороннее подтверждение.

Биосфера является единственным местом обитания человека и других живых организмов. Из построений В.И.Вернадского и ряда других ученых следует **закон незаменимости биосферы**.

Из этого закона видно, что конечная задача охраны природы - это сохранение биосферы как единственного места обитания человеческого общества.

Современные философские концепции сводятся к тому, что процесс взаимодействия общества и биосферы должен быть управляем и не должен привести к деградации биосферы как среды обитания общества. В отличие от биогенеза данный этап эволюции биосферы рассматривают в качестве этапа разумного развития, т.е. ноогенеза (от греч. ноос - разум). Соответственно происходит постепенное превращение биосферы в ноосферу. Понятие "ноосфера" введено в прошлом веке французским ученым Ле Руа и развито далее **Тейяр-де-Шарденом** (1881-1955).

Под этим термином они понимали особую оболочку Земли, включающую общество с индустрией, языком, хозяйственной деятельностью, религией. Ноосфера рассматривалась в качестве "мыслящего пласта", разворачивающегося над биосферой вне ее.

Биосфера неизбежно превратится в ноосферу, т.е. сферу, где разум человека будет играть доминирующую роль в развитии системы человек-природа.

Этот закон справедлив, хотя некоторые современные ученые рассматривают его как социальную утопию. В то же время очевидно, что если человечество не начнет регулировать свою численность, управлять собственными действиями на природу, опираясь на ее законы, то оно обречено на гибель. Поэтому *смысл закона ноосферы видится в том, что люди будут управлять не природой, а прежде всего собой.*

В.И.Вернадский считал, что ноосфера - это новое геологическое явление на Земле. В ней впервые человек становится мощной геологической силой. Но мыслить и действовать человек, как и все живое, может только в области распространения жизни, т.е. в биосфере, с которой он неразрывно связан и из которой не может уйти.

Биосфера - это геологическая земная оболочка, не только охваченная жизнью, но и структурно ею организованная. При этом биосфера как планетная система входит в более крупную надсистему Земли, обладающую единством взаимодействия земных и космических процессов.

Таким образом, важнейшими особенностями биосферы являются ее организованность и устойчивое динамическое равновесие. Организованность означает, что биосфера - не хаос разрозненных составляющих, а некоторое единое и связанное целое.

Например, термодинамический уровень организованности биосферы выражается в наличии двух взаимосвязанных слоев: верхнего, освещенного (фотобиосфера), где существуют фотосинтезирующие организмы, и нижнего, почвенного (афотобиосфера), где расположена зона подземной жизни.

Обычно в биосфере довольно условно выделяют 4 крупных комплекса - атмосферу, литосферу (верхнюю часть земной коры), гидросферу и живые организмы.

Верхней границей биосферы является озоновый экран или **озоносфера** - слой атмосферы в пределах стратосферы, имеющий наибольшую плотность озона на высоте 22-26 км (в среднем). Выше озоносферы существование жизни невозможно без специальной защиты из-за жесткого ультрафиолетового излучения Солнца.

Озон O_3 образовался в результате реакции между атомарным (O) и молекулярным (O_2) кислородом под действием ультрафиолетового излучения Солнца.

Ультрафиолетовое излучение Солнца - это электромагнитные волны солнечного излучения с длиной волны менее 400 нм, а видимую часть солнечного спектра составляют лучи с длиной волны 400-760 нм.

Атмосфера - это газовая оболочка земли, вращающаяся вместе с ней, имеющая слоистое строение и состоящая из нескольких сфер (тропосфера, стратосфера, мезосфера и т.д.), важнейшая часть биосферы, с которой она связана биогеохимическими циклами, включающими газообразные компоненты - круговороты азота, углерода, кислорода и воды.

Стратосфера - является областью атмосферы, расположенной выше тропосферы.

Тропосфера - наиболее плотный слой воздуха атмосферы, прилегающий к земной поверхности.

Воздух или атмосферный воздух - газовая оболочка нашей планеты, состоящая из смеси различных газов (азота, кислорода, аргона, диоксида углерода, гелия и т.д.), водяных паров и пыли.

Влияние атмосферных факторов на биологические процессы огромно - это сама жизнь. Атмосфера - один из продуктов процесса возникновения и развития Земли. Кислород и дыхание - синонимы жизни. "Пока дышу - надеюсь" (Овидий). По мере перехода к более высокоорганизованным формам жизни зависимость от кислорода увеличивается: анаэробы (микрорганизмы) могут жить без него всегда, лягушки - дни, человек - минуты.

В атмосфере находится приблизительно 1% от общего количества воды на планете, но этого достаточно, чтобы дожди поддерживали жизнь на Земле.

Горизонтальные и вертикальные перемещения воздушных масс играют ведущую роль в формировании погоды и климата. Основными силами, определяющими горизонтальное движение воздуха, являются перепады давления, сила Кориолиса и трение. Неравномерный нагрев атмосферы Солнцем создает перепады давления.

Биосфера включает всю гидросферу. **Гидросфера** - это водная оболочка Земли, представляющая собой совокупность океанов, морей, озер, рек, прудов, болот, подземных вод.

Вода - один из важнейших, незаменимых природных ресурсов, химическое соединение водорода и кислорода. Простейшую формулу - H_2O - имеет водяной пар. Молекула жидкой воды состоит главным образом из объединения двух простых молекул (H_2O)₂. Лед - объединение трех простых молекул - (H_2O)₃. Вода - это единственное вещество на Земле, существующее в природе во всех трех агрегатных состояниях: жидком, твердом, газообразном.

Гидросфера - компонент неживой материи, но с ней связана жизнь на

Земле. Там, где есть вода, есть и жизнь. Вода - важнейшее составляющее любой живой клетки. Биохимические реакции протекают в воде, поскольку большинство органических соединений из биологического подмножества водорастворимы. На заре возникновения жизни летучие органические соединения рассеивались в атмосфере и распадались. Те, что не растворялись в воде, погружались на дно, в воде же остались преимущественно водорастворимые вещества, они и участвовали в дальнейшей эволюции жизни.

Функции воды очень многообразны. Вода по сравнению с остальными веществами земного происхождения обладает уникальными и аномальными свойствами, например, термодинамическими (теплоемкость, константы парообразования и кристаллизации) и физико-химическими (вязкость, достижение максимальной плотности при 4°С, несжимаемость, высокий коэффициент поверхностного натяжения, плавучесть льда, растворяющая способность, возможность формирования щелочной, нейтральной и кислой среды).

Разнообразие скоплений и движений воды в различных ее фазовых состояниях - это облака, водопады, реки, озера, заснеженный лес, ледники, морской прибой, т.е. эстетический ресурс планеты Земля.

Почва. Твердая земная кора, на которой мы обитаем (**литосфера**), имеет сложное строение.

Верхние слои литосферы (до 2-4 км) называют литобиосферой, а поверхностный слой - **почвой**. В глубь Земли живые организмы проникают на небольшое расстояние. Самая большая глубина, на которой в породах земной коры были обнаружены бактерии, составляет 4 км, на дне океанов - до 11 км.

Почва является важнейшим связующим звеном между биотическими и абиотическими компонентами наземных экосистем. В этом заключается особая роль почвы в биосфере. Процесс образования почвы получил название почвообразования. Наука о почвах называется **почвоведением**.

Почвообразование - результат физического, химического и биологического преобразования горных пород. Она является трехфазной средой, содержащей твердые, жидкие и газообразные компоненты. Важнейшим свойством является ее плодородие.

Докучаев Василий Васильевич (1846-1903) - выдающийся русский ученый, впервые представил почву как динамическую, а не инертную среду в классической работе "Русский чернозем", где рассмотрел почвы России и их образование. В.В.Докучаев выявил **главные почвообразующие факторы** - климат, геологическую основу (материнская порода), топографию (рельеф), живые организмы и время. Все эти факторы относятся к экологическим факторам (факторам среды обитания).

Плодородие почвы определяется как способность почвы обеспечить органическое и минеральное питание растений. Избыток или недостаток гумуса, а также эдафические факторы определяют плодородие почвы.

Эдафические факторы (от греч. эдафос - почва) - совокупность физических и химических свойств почвы.

Гумус или перегной - это сложный комплекс органико-минеральных соединений, образовавшихся из органических остатков растений и животных путем разложения последних при помощи микроорганизмов.

Рост растений зависит от содержания нужных питательных веществ в почве и от ее структуры.

В состав почвы входят четыре важных структурных компонента: минеральная основа (обычно 50-60% общего состава почвы), органическое вещество (до 10%), воздух (15-22%) и вода (25-35%). Минеральный скелет почвы - это неорганический компонент, который образовался из материнской породы в результате ее выветривания.

Структура почвы. Минеральные фрагменты, образующие вещество почвенного скелета, различны - от валунов и камней до песчаных крупинок и мельчайших частиц глины. Скелетный материал обычно произвольно разделяют на мелкий грунт (частицы < 2 мм) и более крупные фрагменты. Частицы меньше 1 мкм в диаметре называют **коллоидными**. Механические и химические свойства почвы в основном определяются теми веществами, которые относятся к мелкому грунту. Соотношение частиц разных размеров в мелком грунте исследуют путем механического анализа в лаборатории или при наличии опыта на ощупь в поле.

Структура почвы имеет большое значение для сельского хозяйства. Средне- мелкоструктурные почвы, такие как глина, суглинки и алевриты, содержат достаточно питательных веществ и способны удерживать воду. Песчанистые почвы быстрее дренируются и теряют питательные вещества из-за выщелачивания, но их выгодно использовать для получения ранних урожаев: их поверхность высыхает ранней весной быстрее, чем у глинистых почв, что приводит к лучшему прогреванию. Степень каменистости почвы (частицы < 2 мм) тоже имеет значение, так как влияет на быстроту износа сельскохозяйственных орудий, а также на дренаж. С увеличением содержания камней в почве уменьшается ее способность удерживать воду.

Идеальная почва должна содержать приблизительно равные количества глины и песка в сочетании с частицами промежуточных размеров. В этом случае образуется пористая, крупчатая структура, и почвы называются **суглинками**. Они обычно обладают достоинствами двух крайних типов почв и не имеют их недостатков. Таким образом, легко выполнимый механический анализ почвы дает полезное представление о ее вероятных свойствах.

Земля необходима человеку для разных целей, которые порой несовместимы. Растет пренебрежение к истинной ценности земли. Это нередко приводит к тому, что в роли “кормилицы” она ценится ниже, чем в качестве “основы для бетонного фундамента”.

Земля - слово особенное. Так называется наша планета. Уходя на чужбину, наши предки брали с собой горсть родной земли и хранили ее как святыню.

Мир почв, этой “души ландшафта”, по выражению В.В. Докучаева, изменчив, раним. Созданная растениями и животными, она управляет биогеоценозом, восстанавливая его зональный тип.

Динамичность почв целиком связана с динамичностью биосферы и эта связь “может сыграть с людьми злую шутку, если мы не будем учитывать те многочисленные процессы, которые протекают в “четвертой стихии” - почве”.

Экологические факторы, относящиеся к неживой природе, составляют абиотический компонент экосистемы. Они подразделяются на эдафические (почвенные), климатические, топографические и другие физические факторы, в том числе воздействие волн, морских течений, огня.

Эдафические (почвенные) факторы были рассмотрены выше.

Климатические факторы. Главными климатическим переменными в экосистеме являются свет, температура, вода и ветер. Ниже будет рассмотрено их прямое влияние на биотический компонент экосистемы.

Свет необходим для жизни, так как это источник энергии для фотосинтеза (**фотосинтез** - превращение зелеными растениями и фотосинтезирующими микроорганизмами лучистой энергии Солнца в энергию химических связей органических веществ), однако есть и другие аспекты его воздействия на живые организмы. Рассматривая эти аспекты, полезно помнить, что интенсивность света, его качество (длина волны или цвет) и продолжительность освещения (фотопериод) могут оказать различное влияние.

На интенсивность света влияет угол падения солнечных лучей на земную поверхность; она изменяется в зависимости от широты, сезона, времени дня и экспозиции склона.

Длина дня (фотопериод) на экваторе более или менее постоянна (около 12 ч), но в более высоких широтах она изменяется в зависимости от времени года. Для растений и животных таких широт характерна реакция на фотопериод, которая синхронизирует их активность с временами года. Примерами могут служить цветение и прорастание семян у растений, миграция, зимняя спячка и размножение животных.

Необходимость света для растений существенно влияет на структуру сообществ. Распространение водных растений ограничено поверхностными слоями воды. В наземных экосистемах в процессе конкуренции за свет у растений выработались определенные стратегии, например, быстрый рост в высоту, использование других растений в качестве опоры (у лиан), увеличение поверхности листьев. В лесах это приводит к ярусной структуре сообщества.

Некоторые важные процессы с участием света перечислены в таблице 1.

Таблица 1

Важнейшие процессы, протекающие у растений и животных с участием света

Процесс	Функции и примеры
Фотосинтез	В среднем 1-5% падающего на растения света используется для фотосинтеза. Фотосинтез - источник энергии для всей остальной пищевой цепи. Свет необходим также для синтеза хлорофилла
Транспирация	Примерно 75% падающей на растения солнечной радиации расходуется на испарение воды и таким образом усиливает транспирацию; это важно в связи с проблемой сохранения воды.
Фотопериодизм	Важен для синхронизации жизнедеятельности и поведения растений и животных (особенно размножения) с временами года
Движение	Фототропизм и фотонастия у растений; важны для того, чтобы обеспечить растению достаточную освещенность. Фототаксис у животных и одноклеточных растений; необходим для нахождения подходящего местообитания
Зрение у животных	Одна из главных сенсорных функций
Прочие процессы	Синтез витамина D у человека

Длительное воздействие ультрафиолетовых лучей может вызывать повреждение тканей, особенно у животных; в связи с этим выработались защитные приспособления - пигментация, поведенческие реакции избегания и т.п.

Температура. Главным источником тепла является солнечное излучение; им могут также быть геотермальные источники, но они играют важную роль только в немногих местообитаниях, например, в горячих ключах, где развиваются бактерии и сине-зеленые водоросли.

Данный организм может выживать только в определенных температурных пределах, к которым приспособлены его метаболизм и структура. Если температура живой клетки падает ниже точки замерзания, клетка обычно физически повреждается и гибнет в результате образования кристаллов льда. Если же температура слишком высока, происходит денатурация ферментов. Между этими крайними точками скорость реакций, контролируемых ферментами, а значит, и интенсивность метаболизма удваиваются с повышением температуры на каждые 10°C . Большинство организмов способно в той или иной степени контролировать температуру своего тела с помощью различных ответных реакций и адаптаций, которые могут смягчать воздействие экстремальных условий и внезапных изменений среды. В водной среде из-за высокой теплоемкости воды не происходит резких изменений температуры, так что в этом отношении условия здесь более стабильны, чем на суше.

Температура, так же как интенсивность света, в большой мере зависит от географической широты, сезона, времени суток и экспозиции. Однако часто встречаются и узлокальные различия в температуре; это в особенности касается микроместообитаний, обладающих собственным микроклиматом. Растительность тоже оказывает некоторое влияние на температуру. Например, иная температура бывает под пологом леса или в меньшей степени внутри отдельных групп растений, а также под листьями отдельного растения.

Влажность и соленость. Вода необходима для жизни и может быть важным лимитирующим фактором в наземных экосистемах. Вода поступает из атмосферы в виде осадков: дождя, снега, дождя со снегом, града или росы. В природе происходит **непрерывный круговорот воды - гидрологический цикл**, от которого зависит распределение ее на поверхности суши. Наземные растения поглощают воду главным образом из почвы. Быстрый дренаж, небольшое количество осадков, сильное испарение или сочетание всех этих факторов могут приводить к иссушению почв, а при изобилии воды, напротив, возможно их постоянное переувлажнение. Таким образом, количество воды в почве зависит от водоудерживающей способности самой почвы и от баланса между количеством выпадающих осадков и совместным результатом испарения и транспирации (эвапотранспирация). Испарение происходит как с поверхности влажной растительности, так и с поверхности почвы.

По способности переносить недостаток воды растения можно разделить на **ксерофиты** (растения с высокой выносливостью), **мезофиты** (со средней выносливостью) и **гидрофиты** (с низкой выносливостью, приспособленные к избытку воды).

Проблемы, связанные с водой, есть и у водных организмов. Эти **организмы** можно подразделить на **пресноводные** и **морские** - по степени солености воды, в которой они обитают. Сравнительно немногие растения и животные могут выдерживать большие колебания солености. Такие виды обычно обитают в эстуариях рек или в соленых маршах. К ним относятся, например, улитка, способная выживать при изменениях концентрации хлористого натрия от 50 до 1600 ммоль/мл. Соленость может иметь значение в наземных местообитаниях. Если испаряется больше воды, чем поступает с осадками, почвы могут засоляться, и это создает проблему в некоторых районах, где применяется орошение.

Циркуляция воздуха. Ветер. В атмосфере так же, как и в океане, постоянно происходит циркуляция, энергию для которой предоставляет Солнце. Крупномасштабным результатом циркуляции воздушных масс является перераспределение водяных паров, так как атмосфера захватывает их в одном

месте (где вода испаряется), переносит и отдает в другом месте (где выпадают осадки). Если где-то в атмосферу поступают газы, в том числе загрязняющие (например, двуокись серы в промышленных районах), то система атмосферной циркуляции перераспределит их и они выпадут в других местах, растворенные в дождевой воде (**трансграничный перенос**).

Ветер, взаимодействуя с другими факторами окружающей среды, может влиять на развитие растительности, особенно на деревья, растущие на открытых местах. Это часто приводит к задержке их роста и искривлению с наветренной стороны. Кроме того, ветер увеличивает эвапотранспирацию в условиях низкой влажности.

Ветер играет большую роль в распространении спор, семян и т.п., расширяет возможности распространения неподвижных организмов, например растений, грибов и некоторых бактерий; он может также влиять на миграцию летающих животных.

Еще одна атмосферная переменная - это **атмосферное давление**, которое уменьшается с высотой. С увеличением высоты снижается парциальное давление кислорода. У растений возрастает транспирация, поэтому у них выработались адаптации для сохранения воды, как, например, у многих альпийских растений (табл. 2).

Таблица 2

Адаптация к засушливым условиям у растений и животных

тип адаптации	примеры
1.	
<i>Уменьшение потери воды</i>	
Листья превращены в иглы и колючки	Cactaceae (кактусовые), Euphorbiaceae (молочай), хвойные деревья
Погруженные устьица Листья свернуты в цилиндр	Pinus (сосна)
Толстая восковая кутикула	Листья большинства ксерофитов; насекомые
Толстый стебель с большим отношением объема к поверхности	Cactaceae и Euphorbiaceae ("суккуленты")
Опушенные листья	Многие альпийские растения
Сбрасывание листьев при засухе	Ряд растений
Устьица открыты ночью и закрыты днем	Crassulaceae (толстянковые)
Эффективная фиксация CO ₂ ночью при неполностью открытых устьицах	C ₄ - растения, например Zea mays (кукуруза)
Выделение азота в виде мочевой кислоты	Насекомые, птицы и некоторые рептилии
Удлиненная петля Генле в почках	Пустынные млекопитающие, например, верблюд, пустынная крыса
Ткани выносливы к высоким температурам из-за уменьшения потоотделения или транспирации	Многие пустынные растения, верблюд
Животные прячутся в норах	Многие мелкие пустынные млекопитающие, например, пустынная крыса
Дыхательные отверстия прикрыты клапанами	Многие насекомые

Окончание табл. 2

Тип адаптации	Примеры
<i>2. Увеличение поглощения воды</i>	
Обширная поверхностная корневая система и глубоко проникающие корни	Некоторые Cactaceae (кактусовые), например <i>Opuntia</i> , и Euphorbiaceae (молочаи)
Длинные корни	Многие альпийские растения, например, эдельвейс
Прорывные ходы к воде	Термиты
<i>3. Запасание воды</i>	
В слизистых клетках и в клеточных стенках	Cactaceae (кактусовые), Euphorbiaceae (молочаи)
В специализированном мочевом пузыре	Пустынная лягушка
В виде жира (вода - продукт окисления)	Пустынная крыса
<i>4. Физиологическая устойчивость к потере воды</i>	
При видимом обезвоживании сохраняется жизнеспособность	Некоторые эпифитные папоротники и плауны, многие мохообразные и лишайники, осока
Потеря значительной части массы тела и быстрое ее восстановление при наличии доступной воды	Верблюд (теряет до 30%)
<i>5. "Уклонение" от проблемы</i>	
Переживают неблагоприятный период в виде семян	Эшшольция калифорнийская
Переживают неблагоприятный период в виде луковиц или клубней	Некоторые лилии
Распределение семян в расчете на то, что некоторые из них попадут в благоприятные условия	Различные растения
Поведенческие реакции избегания	Почвенные организмы, например, клещи, дождевые черви
Летняя спячка в слизистом коконе	Дождевые черви, двоякодышащие рыбы

Топография. Влияние топографии тесно связано с другими абиотическими факторами, так как она может сильно сказываться на местном климате и развитии почвы.

Главным топографическим фактором является **высота**. С высотой снижаются средние температуры, увеличивается суточный перепад температур, возрастают количество осадков, скорость ветра и интенсивность радиации, понижается атмосферное давление и концентрации газов. Все эти факторы влияют на растения и животных. В результате обычным явлением стала **вертикальная зональность**.

Горные цепи могут служить климатическими барьерами. Воздух, поднимаясь над горами, охлаждается, и часто выпадают осадки. При этом на подветренной стороне гор, где воздух суше и выпадает меньше осадков, образуется дождевая тень. Это влияет на экосистемы. Горы служат также барьерами для распространения и миграции организмов и могут играть важную роль изолирующего фактора в процессах видообразования.

Еще один важный топографический фактор - **экспозиция склона**.

В Северном полушарии склоны, обращенные на юг, получают больше солнечного света, и поэтому интенсивность света и температура здесь выше, чем на дне долин и на склонах северной экспозиции (в Южном полушарии имеет место обратная ситуация). Это оказывает поразительное влияние как на естественную растительность, так и на уголья, используемые человеком.

И наконец, важным топографическим фактором является **крутизна склона**. Для крутых склонов характерны быстрый дренаж и смывание почв, поэтому почвы здесь маломощные и более сухие, с ксероморфной растительностью. Если уклон превышает 35° С, почва и растительность обычно не образуются, а создаются осыпи из рыхлого материала.

В.И.Вернадский выделил в биосфере семь разных, но геологически взаимосвязанных типов веществ:

- 1) живое вещество;
- 2) биогенное вещество (горючие ископаемые, известняки и т.п., продукты живого);
- 3) косное вещество, образованное в результате процессов, в которых живые организмы не участвуют;
- 4) биокосное вещество (например, почва);
- 5) радиоактивное вещество;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещества космического происхождения (метеориты, пыль космическая).

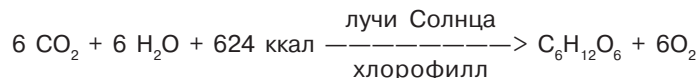
Центральное звено в концепции В.И.Вернадского - представление о живом веществе. Живое (вещество) (по В.И.Вернадскому) - "совокупность всех живых организмов, в данный момент существующих, численно выраженная в элементарном химическом составе, весе, энергии. Оно связано с окружающей средой биогенным потоком атомов: своим дыханием, питанием и размножением".

Живые организмы обладают очень высокой геохимической активностью. В течение миллиардов лет живое вещество на Земле использовало и трансформировало в ходе образования биокосных тел колоссальное количество солнечной энергии.

"Несомненно, что энергия, придающая биосфере ее обычный облик, имеет космическое происхождение. Она исходит из Солнца в форме лучистой энергии. Но именно живое, совокупность жизни, превращает космическую лучистую энергию в земную, химическую (физическую) и создает бесконечное разнообразие нашего мира" (Вернадский). Жизнь - это связующее звено между Космосом и Землей.

Решающее значение в образовании биосферы сыграли растения. Это единственная группа организмов, способная синтезировать органическое вещество - основу существования и развития живого мира - из минерального, используя углекислый газ, воду и солнечную энергию (фотоны).

Суммарно реакция фотосинтеза выражается схемой:



Другой способ создания органического вещества с использованием не солнечной, а химической энергии (хемосинтез) дает немного органических веществ, но он важен для круговорота азота и ряда других биосферных процессов.

Биосфера - сложная система, улавливающая, накапливающая, переносящая энергию путем обмена веществ между живым и окружающей средой. Она способна поддерживать равновесие состояния между всеми составляющими. *Основой динамического равновесия и устойчивости биосферы является круговорот веществ с превращением энергии.*

В биосфере образовалась сложная система, обеспечивающая круговорот веществ. Она состоит из запаса биогенных элементов и организмов, которые можно разделить на 3 группы:

- 1) продуценты (производители);
- 2) консументы (потребители);
- 3) редуценты (разрушители).

Для поддержания экосистем и круговорота веществ необходим поток энергии (Солнца).

По способу питания все **обитатели планеты** делятся на две группы: **автотрофные** и **гетеротрофные**. Автотрофные обладают способностью создавать органическое вещество из неорганического. Гетеротрофы используют готовые органические вещества.

Биосфера - самая крупная экологическая система (экосистема) земного шара. Существует несколько разных определений экосистемы. Впервые определение экосистемы как совокупности живых организмов с их местообитанием было дано А. Тэнсли в 1935 году.

Современный американский эколог Б.Небел (1993) определяет экосистему как "совокупность различных видов растений, животных, микробов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой таким образом, что вся эта совокупность может сохраняться неопределенно долгое время".

Экосистемой в экологии обозначают обширное функциональное единство. Единство потому что круговорот замкнут, а наиболее обширное потому, что оно включает и *организм, и абиотическую среду*, причем каждый из компонентов влияет на особенности другого и каждый необходим для поддержания слаженного хода жизни.

Основные принципы естественного устройства биосферы можно кратко изложить в следующих важнейших тезисах:

- *биосфера использует внешние источники энергии* (солнечный свет и энергию радиоактивного разогрева земных недр). Это позволяет упорядочить структуру биосферы, усложнять ее организацию, эффективно использовать свободную энергию, не вызывая загрязнения окружающей среды. Постоянный приток определенного количества энергии, ее использование и рассеяние в виде тепла создало эволюционно сложившийся тепловой баланс в биосфере;

- *биосфера использует вещество в основном в форме круговоротов.* Биогеохимические циклы элементов отработаны эволюционно и не приводят к накоплению вредных отходов. В биосфере преимущественно используются легкие (биогенные) элементы;

- *в биосфере существует огромное многообразие видов и биологических сообществ.* Конкурентные и хищнические отношения между видами способствуют установлению равновесия между отдельными видами, при этом практически отсутствуют доминирующие виды с чрезмерной численностью, что обеспечивает защиту биосферы от чрезмерной опасности со стороны внутренних факторов.

Рост хозяйственной деятельности человека приобретает такие масштабы, когда нарушаются основные принципы естественного устройства биосферы:

энергетический баланс, сложившийся круговорот веществ, сокращение многообразия видов и биологических сообществ. Это и есть основные причины экологического кризиса, которые ниже будут рассмотрены более подробно.

Биосфера и человек обеспечивают себя энергией существенно различными способами. Если растения, с которых начинается трансформация солнечной энергии в живом веществе, преобразуют ее из рассеянного состояния в концентрированное, синтезируя органическое вещество, то люди, напротив, сжигая органическое вещество, переводят сосредоточенную в нем энергию из концентрированного состояния в рассеянное, вызывая загрязнение окружающей среды. Не удивительно, что результат энергетической деятельности человека в отношении воздействия на окружающую среду является иным, нежели воздействие живых организмов.

Иерархия - расположение частей или элементов целого ступенчатым рядом от высшего к низшему. На каждом уровне "лестницы" в результате взаимодействия живого вещества с окружающей средой возникают соответствующие экологические системы. Биосфера состоит из систем более низкого иерархического уровня: суши (террабиосфера), океана (гидробиосфера), атмосферы (аэроббиосфера), глубин Земли (литосфера).

Экосистема суши делится на крупные эволюционно возникшие экосистемы ранга биогеографической области, которые состоят из природных поясов, а те, в свою очередь, из ландшафтных провинций - **биомов** (леса умеренного пояса, тундра, степи, саванны и т.д.).

В биомы входят **индивидуальные ландшафты**, состоящие из биогеоэкологических комплексов, объединяющих биогеоценозы - элементарные первичные структурные единицы биосферы. Учение о биогеоценозе разработал В.Н.Сукачев. К понятию биогеоценоз близко понятие **фация** - наименьший природно-территориальный комплекс, на всем протяжении которого сохраняется один состав пород, одинаковый характер рельефа, характер увлажнения, один микроклимат и один биоценоз; совпадает с понятием "биогеоценоз" и "элементарный ландшафт".

Рельеф - совокупность форм земной поверхности, различных по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития; складывается из положительных (выгнутых) и отрицательных (вогнутых) форм. По масштабу различают: макрорельеф, мезорельеф, нанорельеф.

Микроклимат - климат небольшой территории или искусственного образования (опушки леса, склона холма, города и т.д.).

Живыми компонентами биогеоценоза (экосистемы) являются продуценты, консументы и редуценты, а неживыми - солнечная энергия, воздух, вода, субстрат (на суше - почва, на дне водоемов - грунт).

Примером биогеоценоза может служить озеро. Имеет четкую границу фитопланктон, водоросли, которые синтезируют органическое вещество, используя солнечный свет, минеральные соли и углекислый газ, растворенный в воде. Зоопланктон питается фитопланктоном. Его поедают мелкие рыбы, а их - хищные рыбы. Таким образом, в озере существует пищевая цепь, отдельные звенья которой зависят друг от друга. Исчезновение фитопланктона неизбежно ведет к гибели других видов.

В экосистемах количество энергии, идущей от солнечного света через растения к животным, определяет общую численность организмов и их биомассу. При переходе энергии от одного трофического уровня к другому происходит ее рассеивание. И только около 10% энергии передается на следующий трофический уровень (*правило (закон) 10%, Линдемана*). В 1942 г. американский ученый Р.Линдеман изложил основные методы расчета

энергетического баланса экологических систем. С этого периода стали возможны расчеты и прогнозирование предельной продуктивности биоценозов (сообществ) в конкретных условиях.

Существование большого числа трофических уровней невозможно из-за быстрого приближения энергии (биомассы) к нулю. Графически это можно представить в виде пирамид.

Экосистемы не изолированы друг от друга: процессы в одной экосистеме затрагивают другие. Например, частицы почвы, отравленной пестицидами, вымываются с суши, они могут сильно влиять на жизнь в водоемах.

Биосфера является сбалансированной саморегулирующейся системой. Этому способствует биоразнообразие. **Биологическое разнообразие** - число различных типов биологических объектов или явлений и частота их встречаемости на фиксированном интервале пространства и времени, отражающие сложность живого вещества, способность его к саморегуляции своих функций и возможность его разностороннего использования.

Саморегуляция в экосистеме (биогеоценозе) - способность к восстановлению внутреннего равновесия после какого-либо природного или антропогенного воздействия.

В химии живых систем установлен весьма интересный факт. Дело в том, что для любой органической субстанции в природе существует фермент, способный эту вырабатываемую живыми организмами субстанцию на каком-то этапе разложить. Отсюда вечный круговорот веществ, отсюда вечность самой жизни. Каждому субстрату в этом взаимодействии уготовано свое место и определена роль в биологическом круговороте, поэтому важно наличие биоразнообразия в биосфере.

Экология сообществ и экологические сукцессии. Экосистемы формируются из сообществ (биоценозов) и их неживого окружения. Живой компонент экосистемы - сообщество (биоценоз) - это совокупность взаимодействующих популяций, занимающих определенную территорию. Сообщество функционирует как динамическая единица с различными трофическими уровнями, через него проходит поток энергии и совершается круговорот питательных веществ.

Жизнь любого живого существа невозможна без других. Связи между разными организмами называют биотическими.

Биотические факторы - это формы воздействия живых существ друг на друга; взаимные связи организмов - основа существования популяций, биоценозов.

Прямые связи - наблюдаются при непосредственном влиянии одного вида на другой (например, хищника на жертву, пищевые связи).

Косвенные связи осуществляются через влияние на внешнюю среду.

Межпопуляционные взаимодействия в сообществе (типы биологических взаимодействий) - это связи популяций разных видов в пределах сообщества; выделяют следующие отношения: нейтральные, конкурентные, паразитические, хищнические, симбиотические, мутуализм, комменсализм, антагонизм.

Конкуренция - один из главных типов отношений, определяющих состав природных сообществ; конкурирующие виды вместе не уживаются.

Пищевые (трофические) связи - являются основными в природе, поддерживают жизнь, влияют на численность взаимодействующих видов и на ход их эволюции; каждый вид служит источником вещества и энергии для других видов (трофическая или пищевая цепь).

Цепь трофическая (пищевая цепь, цепь питания) - взаимоотношения между организмами, через которые в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии; группы особей, связанные друг с другом отношением

“пища - потребитель” (т.е. цепь, в которой каждое предыдущее звено служит пищей для последующего).

Структура сообщества создается постепенно в течение определенного времени. Примером, который можно использовать как модель развития сообщества, служит заселение организмами обнаженной горной породы на недавно образовавшемся вулканическом острове. Деревья и кустарники не могут расти на голой скальной породе, так как здесь нет необходимой для них почвы. Однако водоросли и лишайники разными способами попадают на такие территории и заселяют их, образуя **пионерные сообщества**. Постепенное накопление отмерших и разлагающихся организмов и эрозия горной породы в результате выветривания приводят к формированию слоя почвы, достаточного для того, чтобы здесь смогли поселиться более крупные растения, такие как мхи и папоротники. В конце концов за этими растениями последуют еще более крупные и требовательные к питательным веществам формы - семенные растения, включая травы, кустарники и деревья. На рис. 5 представлена схема типичной последовательности такого рода сообществ.

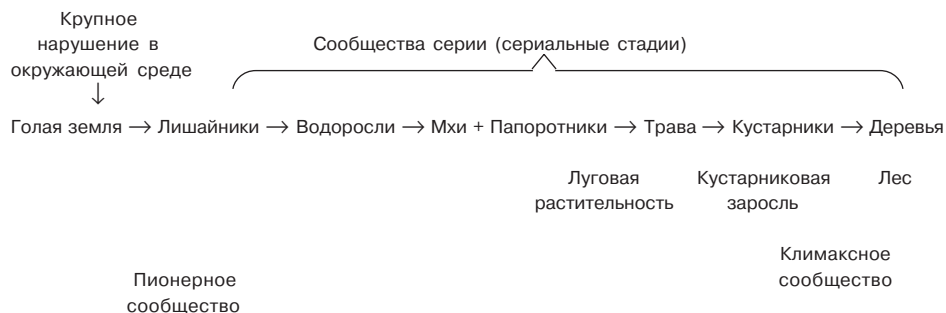


Рис. 5. Типичная наземная сукцессия

Такая смена одних видов другими за некоторый период времени называется **экологической сукцессией**. Завершающее сообщество - устойчивое, самовозобновляющееся и находящееся в равновесии со средой - называется **климаксным сообществом**. В животном мире этих сообществ тоже происходит смена одних видов другими, в значительной мере обусловленная сменой растительности, но этот процесс зависит еще и от того, какие животные могут мигрировать из соседних сообществ.

Описанный выше тип сукцессии, начинающийся с заселения обнаженной горной породы или другой поверхности, лишенной почвы (например, песчаных дюн или бывшего ложа ледника), называется **первичной сукцессией**. В отличие от этого **вторичной** называют **сукцессию**, начинающуюся там, где поверхность полностью или в значительной степени лишена растительности, но прежде находилась под влиянием живых организмов и обладает органическим компонентом. Таковы, например, лесные вырубki, выгоревшие участки или заброшенные сельскохозяйственные угодья. Здесь в почве могут сохраняться семена, споры и органы вегетативного размножения, например, корневища, которые будут оказывать влияние на сукцессию. Как при первичной, так и при вторичной сукцессиях флора и фауна окружающих территорий являются главным фактором, определяющим типы растений и животных, включающихся в сукцессию в результате случайного расселения и миграций.

Полную сукцессию иногда называют **серией**. Серия образует ряд сериальных сообществ (сериальных стадий). В сходных условиях среды серии

нередко бывают представлены сходными сукцессиями, поэтому их можно классифицировать в соответствии с этими условиями: например, гидросерия развивается в водной среде в результате заселения открытой водной поверхности, галосерия - на соленых маршах.

Впервые теория сукцессии была детально разработана в 1916 г. **Клементсом**. Он изучал сообщества в Северной Америке и пришел к выводу, что основным фактором, определяющим состав климаксного сообщества, является климат. По представлениям Клементса, в данных климатических условиях может существовать только одно климаксное сообщество, которое называется **климаксом (концепция моноклимакса)**. Любой перерыв в движении по направлению к климаксу, вызванный местными условиями рельефа, микроклимата, землепользованием и т.д., тоже может привести к формированию устойчивого сообщества, но его нельзя считать окончательным; воздействие климатических факторов все-таки приведет к “теоретическому” климаксу. Например, горы и холмы постепенно будут разрушаться, что вызовет изменения в структуре сообществ. Более современной является концепция **поликлимакса**, согласно которой климакс формируется под влиянием всех физических факторов, причем один или несколько из них могут доминировать (например, дренаж, почва, топография, пожары). Сообщество считается настоящим климаксом, если оно “устойчиво” длительный период времени: любые изменения в нем происходят относительно медленно по сравнению с временем, необходимым для прохождения сукцессии до стадии климакса.

Зональное распределение. В любое данное время виды внутри сообщества могут быть пространственно распределены в соответствии с различиями окружающей физической среды. Это называется **зональным распределением**. Хорошим примером служит распределение морских водорослей и животных, встречающихся на скалистых берегах между уровнями отлива и прилива и в зоне попадания брызг. Физические условия этих зон различны; особенно варьирует время их обнажения между последовательными приливами. В каждой зоне обитают виды, приспособленные к ее особым условиям.

Внешне зональное распределение может иметь сходство с сукцессиями, но необходимо понимать основное различие: при зональном распределении виды сменяются в пространстве, тогда как в сукцессиях они сменяются во времени.

Пример климаксного лесного сообщества. К типичным наземным климаксным сообществам относятся листопадные леса. Они отличаются большим видовым богатством. Например, в лесу возле Оксфорда, где проводились длительные подробные исследования, было найдено около 4 тыс. видов животных. Одна из причин такого богатства - сложная структура лесного сообщества, множество экологических ниш, разделение его на **ярусы (ярусность)**. Большая часть первичной продукции производится в древесном пологе, наиболее интенсивное разложение идет на уровне земли. Животные занимают ниши на всех уровнях.

Основные особенности сукцессий. Предпринималось несколько попыток найти и понять основной принцип, предопределяющий ход сукцессии по направлению к климаксу.

Экологическое доминирование. Наблюдения, касающиеся экологического доминирования, наводят на мысль, что сукцессия всегда идет в направлении к климаксу, где доминирует один или несколько видов-кодоминантов, например, к дубовому лесу или к дубово-ясеневому лесу. В таких лесах в связи с затенением и другими причинами ограничен рост видов, которые могли бы

существовать рядом с доминантами. Однако в некоторых случаях трудно применить концепцию доминирования, например когда речь идет о сообществах планктона, о животных или о тропических дождевых лесах, где в приблизительно равных количествах можно найти несколько сотен видов деревьев.

Продуктивность и биомасса. Линдеман в 1942 г. высказал предположение, что сукцессии сопровождаются повышением продуктивности вплоть до климаксного сообщества, в котором превращение энергии происходит наиболее эффективно. Это логичная и привлекательная гипотеза, так как поток энергии, проходящей через экосистему, является одним из важных факторов, лимитирующих численность и биомассу организмов, жизнь которых она способна поддерживать. Данные исследований показывают, что на поздних стадиях сукцессий продуктивность действительно возрастает, однако при переходе к климаксному сообществу обычно происходит снижение общей продуктивности.

Таким образом, продуктивность в старых лесах ниже, чем в молодых, которые в свою очередь могут иметь меньшую продуктивность, чем предшествовавшие им более богатые видами ярусы травянистых растений. Сходное падение продуктивности наблюдается и в некоторых водных сукцессиях; максимум продуктивности достигается очень быстро. Причины снижения продуктивности остаются предметом гипотез, хотя, если рассматривать в качестве примера лес, можно ожидать, что продуктивность старых деревьев действительно будет меньше, чем молодых. Для этого есть несколько причин. Одна из них то, что накопление питательных веществ в растущей биомассе леса на корню может вести к уменьшению их круговорота. Однако снижение общей продуктивности могло быть просто результатом уменьшения жизненности особей по мере увеличения их среднего возраста в сообществе.

Хотя нет, по-видимому, оснований утверждать, что сукцессии ведут к максимальной эффективности превращения энергии (к максимуму общей продуктивности), уже можно сказать, что они ведут к максимальному накоплению биомассы. Это наиболее очевидно в лесных сообществах, где в ходе сукцессии растения становятся все крупнее и крупнее. Накопленная биомасса в других климаксных сообществах тоже обычно больше, чем в период сукцессии. Изменения в общей продуктивности, дыхании и биомассе в ходе типичной сукцессии показаны на рис. 6, из которого можно видеть, что в климаксном сообществе эти параметры становятся более или менее постоянными.

По мере прохождения сукцессии все большая доля доступных питательных веществ накапливается в биомассе сообщества и, соответственно уменьшается их содержание в абиотическом компоненте экосистемы (почве или воде). Возрастает также

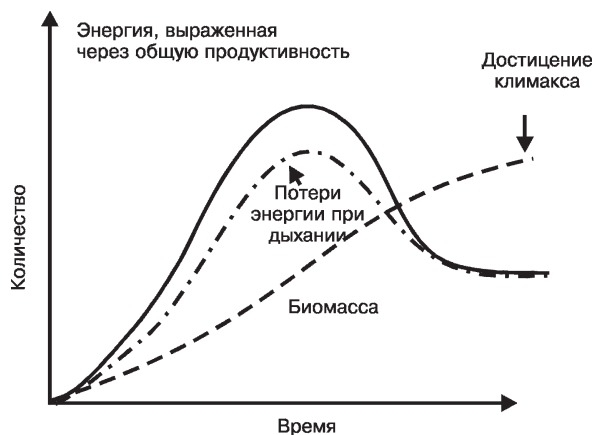


Рис.6. Изменения общей продуктивности, дыхания и биомассы в ходе типичной сукцессии

количество образующегося детрита, и главными первичными консументами становятся не травоядные, а детритоядные организмы. Соответствующие изменения происходят и в трофических сетях, где детрит становится основным источником питательных веществ.

2.7. Популяционная экология

Популяция - совокупность организмов одного вида, обитающих в данном месте в данное время. Исследование популяций имеет важные практические приложения, например, при изучении вредителей, решении природоохранных задач и др. Изучая популяции, интересуются не только их численностью в данное время, но прежде всего их ростом, поддержанием и уменьшением в зависимости от факторов среды. Этот раздел популяционной экологии называется **динамикой популяций**. Данные о том, каким образом численность различных видов изменяется во времени, используются также при изучении потоков энергии и биомассы и помогают построению теории экосистем. Если не считать ряда длительных исследований по динамике фитопланктона, большая часть работ по динамике популяций проводилась на животных и микроорганизмах. Имея дело с растениями, особенно культурными, целесообразнее, а иногда и проще учитывать биомассу, а не число особей. Динамика популяций растений сильно влияет на динамику популяций животных. Поэтому, например, при изучении популяций человека (демография) обычно учитывают и продовольственные ресурсы, основу которых составляют растения.

Рождаемость и смертность. Размеры популяции могут возрастать в результате иммиграции из соседних популяций или за счет размножения особей. Одним из показателей размножения является **плодовитость**, которая измеряется числом потомков одной женской особи. Плодовитость можно выражать разными способами, зависящими от целей изучения и от особенностей изучаемого организма. Ее можно определить, например, как среднее число оплодотворенных яиц, производимых за один цикл размножения или в течение всей жизни. Говоря о млекопитающих, пользуются термином **рождаемость**, которую определяют как число потомков, производимых одной самкой в год. У человека рождаемость обычно выражают числом рождений на 1000 человек за год. В развивающихся странах с недостаточным контролем рождаемости ее уровень примерно вдвое выше, чем в развитых странах. Социологи называют культурные изменения в обществе при переходе с высшего уровня рождаемости на низший **демографическим переходом**.

Размеры популяции могут уменьшаться в результате **эмиграции или смертности**. В популяционной биологии смертность означает вероятность смерти и выражается либо в процентах от общего числа особей, либо средним числом смертей на 1000 особей в год.

Кривые выживания. Один из основных факторов, влияющих на размеры популяции - это процент особей, погибающих до достижения половой зрелости (смертность в дорепродуктивном периоде). В пределах данного вида эта величина гораздо более изменчива, чем плодовитость. Для того чтобы численность популяции оставалась постоянной, в среднем только два потомка каждой пары должны доживать до репродуктивного возраста.

Кривую выживания можно получить, если начать с некоторой популяции новорожденных особей и затем отмечать число выживших в зависимости от времени. По вертикальной оси обычно откладывают или абсолютное число выживших особей или их процент от исходной популяции:

$$\frac{\text{Число выживших}}{\text{Численность исходной популяции}} \times 100\%$$

Каждому виду свойственна характерная кривая выживания, форма которой отчасти зависит от смертности неполовозрелых особей. Типичные примеры приведены на рис. 7.

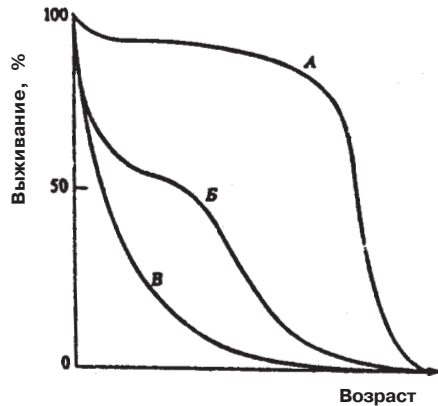


Рис. 7. Три типа кривых выживания

Большинство животных и растений подвержено старению, которое проявляется в снижении жизнеспособности с возрастом после периода зрелости. Как только начинается старение, вероятность наступления смерти в определенный промежуток времени возрастает. Непосредственные причины смерти могут быть разными, но в основе их лежит уменьшение сопротивляемости организма к действию неблагоприятных факторов (например, болезням). Кривая А на рис. 7 очень близка к идеальной кривой выживания для популяции, в которой старение служит главным фактором, влияющим на смертность. Примером может быть популяция человека в современной развитой стране с высоким уровнем медицинского обслуживания и рациональным питанием. Большинство людей доживает до старости, но среднюю ожидаемую продолжительность жизни почти невозможно увеличить более чем до 75 лет. Отклонение кривой от идеальной обусловлено детской смертностью, отображаемой уклоном начального участка. Хотя детская смертность в развитых странах намного ниже, однако и здесь вероятность смерти в раннем детстве выше средней. Кроме того, на кривую выживания помимо старения влияет фактор случайной гибели, причины которой с возрастом могут изменяться. В Англии, например, наибольшая смертность в результате автомобильных катастроф падает на возраст 20-25 лет. Кривая, сходная с кривой А, свойственна также однолетним культурным растениям, когда на данном поле они стареют одновременно.

Кривая типа Б характерна для популяций организмов с высокой смертностью в ранний период жизни, например, для горных овец или для популяции человека в стране, где широко распространены голод и болезни. Плавная кривая типа В может быть получена, если смертность постоянна в течение всей жизни организмов (50% за определенную единицу времени). Это может быть тогда, когда главным фактором, определяющим смертность, становится случай, причем особи гибнут до начала заметного старения. Кривая наподобие этой была когда-то получена для "популяции" стеклянных стаканов в кафетерии. Очень сходная кривая характерна для популяций некоторых животных (например, гидры), не подвергающихся особой опасности в раннем возрасте. Для большинства беспозвоночных и растений тоже характерна кривая такого типа, но высокая смертность среди молодых особей приводит к тому, что начальная часть кривой спускается еще более круто.

Существуют небольшие внутривидовые различия в кривых выживания. Они могут быть обусловлены разными причинами и нередко связаны с полом. У людей, например, женщины живут несколько дольше, чем мужчины, хотя точные причины этого неизвестны.

Вычерчивая кривые выживания для различных видов, можно определять смертность для особей разного возраста и, таким образом, выяснять, в каком возрасте данный вид наиболее уязвим. Установив причины смерти в этом возрасте, можно понять, как регулируется величина популяции.

Рост популяции и кривые роста. Если рождаемость в популяции превышает смертность, то популяция будет расти, если, конечно, изменения в результате иммиграции и эмиграции незначительны. Чтобы понять закономерности роста популяций, полезно вначале рассмотреть модель, описывающую рост популяции бактерий после посева их на свежую культуральную среду. В этой новой и благоприятной среде условия для роста популяции оптимальны и наблюдается экспоненциальный рост.

Кривая такого роста - это **экспоненциальная, или логарифмическая кривая**.

Но, в конце концов достигается такая точка, когда по нескольким причинам, в том числе из-за уменьшения пищевых ресурсов и накопления токсичных отходов метаболизма экспоненциальный рост становится невозможным. Он начинает замедляться так, что кривая роста приобретает сигмоидную (S-образную) форму.

Такой тип роста называют зависимым от плотности, так как скорость роста зависит от плотности популяции, которая влияет на истощение пищевых ресурсов и накопление токсичных продуктов, а потому на рост. С увеличением плотности скорость роста популяции постепенно снижается до нуля, а кривая выходит на плато. При нулевом росте популяция стабильна, т.е. размеры ее не меняются (напомним, что отдельные организмы при этом могут расти и размножаться; нулевая скорость размножения, если оно происходит, уравновешена смертностью). Такая сигмоидная кривая роста получена для ряда одноклеточных и многоклеточных организмов, например, для клеток водорослей в культуральной среде, для фитопланктона озер и океанов весной, для насекомых, таких как мучные хрущачи или клещи, интродуцированные в новое местообитание с обильными запасами пищи, где нет хищников.

Кривая другого типа получается, когда экспоненциальный рост продолжается вплоть до внезапного падения плотности популяции в результате истощения ресурсов среды. Эту кривую называют "J-образной" или кривой типа "бум и крах". Такой рост не зависит от плотности, так как его регуляция не связана с плотностью популяции до самого момента катастрофы. Крах может происходить по тем же причинам, например из-за истощения пищевых ресурсов, которое в случае сигмоидной кривой роста заблаговременно оказывало регулирующее влияние на рост. Миграция или расселение, так же как и внезапное снижение скорости размножения, может способствовать уменьшению численности популяции. Расселение может быть связано с определенной стадией жизненного цикла, например с образованием семян. На рис. 8 показаны примеры того или другого типа. Для обоих типов характерна экспоненциальная фаза в начале роста.

Сигмоидная и J-образная кривые - это две модели роста популяции. При этом предполагается, что все организмы очень сходны между собой, имеют равную способность к размножению и равную вероятность погибнуть, так что скорость роста популяции в экспоненциальной фазе зависит только от ее численности и не ограничена условиями среды, которые остаются постоянными. Но в отношении природных популяций эти предположения часто неверны. Например, скорость роста популяции в естественном местообитании будет зависеть от климатических изменений, от снабжения пищей и от того, ограничено ли размножение определенным временем года. И все же модели роста популяций способствуют лучшему пониманию естественных популяций, и в случае надобности их можно усовершенствовать.

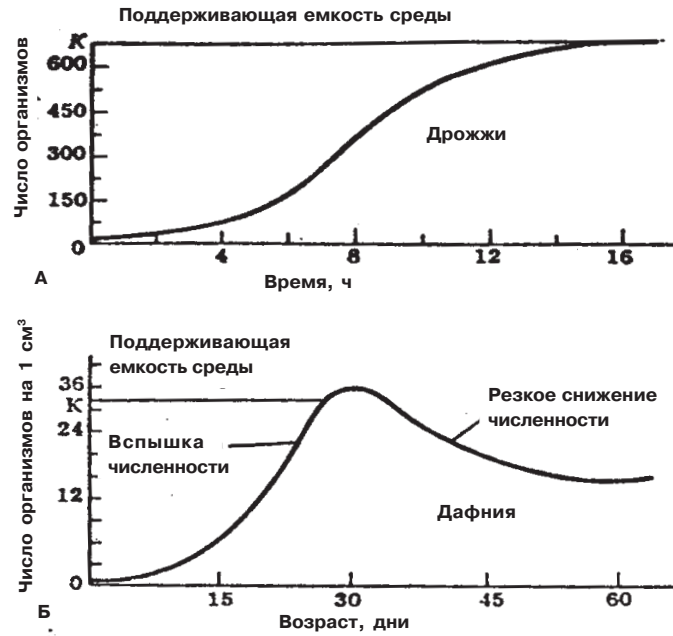


Рис. 8. Два типа кривых роста популяции

(А) Сигмоидная (S - образная) кривая роста дрожжей в культуре. Поддерживающая емкость среды определяется изначальным количеством доступных питательных веществ, содержащихся в среде.
 (Б) J - образная кривая роста дафний в культуре.

Колебания и регуляция численности популяций. В предыдущем разделе мы рассмотрели рост популяции. После того как начальная фаза этого роста закончилась, размеры популяции продолжают колебаться от поколения к поколению. Существенное влияние могут оказывать как изменения климатических условий (например, температуры), так и пищевые ресурсы, враги и т.п. Иногда колебания происходят регулярно, и их можно назвать **циклами**. Изучать их трудно, для этого требуется длительное время, так как данные о диких организмах часто приходится собирать в течение нескольких лет. В ряде случаев для получения данных использовались лабораторные организмы с короткими жизненными циклами, например дрозофилы, крысы или клещи. Их популяции изучаются как модели, так как условия в лаборатории можно контролировать более строго, чем в поле.

Размеры популяции могут быть непостоянными в результате изменений плодовитости или смертности, а иногда того и другого. При изучении размеров популяций и их изменений обычно стараются отыскать **ключевой фактор**, т.е. фактор, ответственный за наибольшую часть наблюдаемых сдвигов, происходящих при смене поколений. В большинстве исследованных случаев это фактор, влияющий на смертность.

Хотя можно было бы ожидать, что колебания размеров популяций будут носить чисто случайный характер, в действительности есть ряд факторов, удерживающих величину популяции в некоторых пределах. Это факторы, которые сокращают численность, способствуя повышению смертности или

снижению плодовитости. Они действуют более эффективно при увеличении плотности популяции, т.е. это **факторы, зависящие от плотности**. Иногда такими факторами могут быть нехватка пищи или возрастание численности врагов. Их непосредственное влияние на смертность очевидно. К двум хорошо изученным регулирующим механизмам, влияющим на плодовитость, относятся территориальное поведение и физические последствия перенаселения.

Территориальное поведение. Территориальное поведение, или **территориальность**, встречается у широкого круга животных, в том числе у некоторых рыб, рептилий, птиц, млекопитающих и общественных насекомых. Это явление особенно хорошо изучено у птиц. Один самец или же самец и самка, образующие пару, могут закрепить за собой гнездовую территорию, которую они будут защищать от вторжения особей того же вида. С помощью пения, а иногда визуальной демонстрации (для которой служит, например, красная грудь зарянки) птица утверждает свои права на территорию, и незваные гости обычно удаляются, иногда после короткой “ритуальной драки”, в которой конкуренты не причиняют друг другу серьезного вреда. Это имеет очевидные преимущества над “настоящими” боями. Соседние территории особей одного и того же вида совсем или почти не перекрываются и обычно обеспечивают достаточное количество пищи для родителей и их птенцов. С ростом популяции отдельные территории становятся меньше и на них может обитать все меньшее число новых птиц. В крайних случаях некоторым птицам не удается закрепить за собой территорию, и они поэтому не размножаются. Таким образом, регуляция здесь обусловлена пространственными ограничениями.

Перенаселенность. Еще одна форма регуляции численности, в которой большую роль играет пространство, - это действие перенаселенности. Как показали лабораторные эксперименты с крысами, когда плотность популяции достигает определенной величины, плодовитость животных сильно снижается, даже если нет недостатка в пище. Происходят различные гормональные сдвиги, которые влияют на половое поведение; все чаще встречается неспособность к спариванию, бесплодие, выкидыши, поедание детенышей родителями. Родительская забота о потомстве ослабевает, и детеныши покидают гнездо в очень раннем возрасте, что снижает вероятность их выживания. Усиливается агрессивность животных. Подобные изменения характерны для ряда млекопитающих и могут происходить также в природных условиях вне лаборатории, например в природных популяциях полевков.

Взаимодействия между популяциями. Редко изучают популяционную динамику только одного вида. Существует ряд хорошо изученных типов взаимодействий между популяциями различных видов (межвидовые взаимодействия). На данном трофическом уровне это может быть **межвидовая конкуренция**, т.е. конкуренция между особями различных видов за доступные ресурсы, например пищу и пространство. Именно поэтому для экологии сообществ важно изучение ниш.

Каждый вид занимает в своем местообитании определенную **экологическую нишу**. Понятие экологической ниши подразумевает не только физическое пространство, где может быть обнаружен данный вид, но также, что еще важнее, определенную его роль в сообществе, в частности его питание и взаимоотношения с другими видами. Когда два вида занимают одну и ту же нишу, они обычно конкурируют друг с другом, пока один из них не будет вытеснен (Гаузе). Сходные местообитания включают сходный набор экологических ниш, и в различных частях земного шара можно встретить морфологически близкие, хотя и различные по таксономическому положению

виды животных и растений. Например, открытые луга, степи и заросли низкого кустарника служат экологическими нишами для быстро бегающих травоядных, но это могут быть лошади, антилопы, бизоны, кенгуру и т.п.

Концепция “экологических ниш” тесно связывает экологические и эволюционные вопросы. В ее разработке важная заслуга принадлежит западным ученым Дж.Гриннеллу, Ч.Т.Элтону, Р.Макартуру, Д.Хатчинсону и советскому исследователю Г.Ф.Гаузе.

Популяции, находящиеся на разных трофических уровнях, тоже могут взаимодействовать - возможны, например, отношения типа “хищник-жертва” и “хозяин-паразит”. Существуют и другие типы взаимоотношений; иногда они трудноуловимы и сложны, как, скажем, некоторые симбиотические взаимоотношения, из которых оба партнера извлекают пользу.

Взаимодействуют между собой и особи одного вида (**внутривидовые взаимодействия**). Сюда относятся территориальные отношения и другие формы конкурентного поведения.

Изучение популяционных закономерностей по-новому помогло осознать роль видов в биоценозах, структурную организацию сообществ, экосистем и биосферы.

Развитие экосистемного анализа привело к возрождению на новой экологической основе учения о биосфере, принадлежащего крупнейшему естествоиспытателю XX в. В.И.Вернадскому, который в своих идеях намного опередил современную ему науку. Биосфера предстала как глобальная экосистема, стабильность и функционирование которой основаны на экологических законах обеспечения баланса вещества и энергии.

3. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

3.1. Методы экологии и роль в них экологического моделирования

Многообразие связей, формирующихся на уровне биологических систем различного ранга, обуславливает разнообразие методов экологических исследований. В современных условиях они играют существенную роль в решении как теоретических, так и чрезвычайно важных практических задач. Динамика численности организмов, сезонное развитие, расселение и акклиматизация полезных и вредных видов, прогнозы размножения и распространения и т.д. - вот краткий перечень экологических проблем.

Разработка их требует рационального сочетания полевых, лабораторных и экспериментальных исследований, которые должны взаимно дополнять и контролировать друг друга.

Можно выделить несколько основных методов экологии: экосистемный, изучение сообществ, популяционный, анализ местообитаний, эволюционный и исторический.

Экосистемный метод: метод, в центре внимания которого находится поток энергии и круговорот веществ между биотическим и абиотическим компонентами экосферы; позволяет выявлять функциональные связи, такие как цепи питания. Привлекается концепция гомеостаза (саморегуляции); подход важен при разработке научно-обоснованной практики ведения сельского хозяйства.

Изучение сообществ: метод уделяет особое внимание биотическим компонентам экосистем; упор делается на определение и описание видов, изучение факторов, ограничивающих их распространение, что важно для решения вопросов рационального использования природных ресурсов.

Популяционный метод: занимается аутоэкологическими проблемами; используются математические модели роста, самоподдержания и уменьшения численности видов; рассматриваются рождаемость, выживаемость, смертность, критическая численность вида, что важно при организации заповедников, ведении охотничьего хозяйства.

Метод изучения местообитаний: метод, изучающий связи физических факторов среды с жизнью животных и растений; разрабатывается концепция экологической ниши.

Применение **методов математической статистики** дает возможность по определенной, достаточно случайной выборке особей определить достоверность результатов (степень отклонения от нормы, случайны они или закономерны). Однако, после установления способности к саморегуляции у биологических систем, возникла необходимость применения методов теории информации и кибернетики, связанных с теорией вероятности, теорией чисел, матричной алгеброй и др.

В последнее время широкое распространение получило моделирование биологических явлений.

Под **моделированием биологических явлений** понимают процесс построения, изучения и применения моделей различных экологических систем и процессов, свойственных живой природе. Основной задачей биологического моделирования является экспериментальная проверка гипотез относительно структуры и функции биологических систем.

3.2. Модели экологических систем и процессов

Сущность метода биологического моделирования заключается в том, что вместе с оригиналом, т.е. изучаемой реальной системой или процессом, изучается их искусственно созданное подобие - модель.

Процесс перевода физических или биологических представлений о любой экологической системе в ряд математических зависимостей и операции над ними называются системным анализом, а сама математическая система - **моделью**.

В сравнении с оригиналом модель обычно упрощена, но свойства их сходны, иначе результаты могут оказаться недостоверными, не свойственными оригиналу.

В зависимости от особенностей оригинала и задач исследования применяются самые разнообразные модели (рис. 9).

Модели материальные (реальные) - предметные (например, аквариум, который может служить моделью естественного водоема). Однако создание реальных моделей сопряжено с большими техническими трудностями, не всегда выполнимыми.

Модели идеальные (знаковые) - мысленные, например, график, формула и т.д.

Наибольшее распространение в экологии получили концептуальные и математические модели и их многочисленные разновидности (научный текст, схема системы, таблицы и т.д.).

Математические модели - особенно эффективен метод изучения экологических систем, в частности, при определении количественных показателей.

Математические модели являются неполным абстрактным отображением реального мира. При отсутствии реальных моделей математический подход является сильно отвлеченным, но при исключении математического подхода бывает трудно уловить общий смысл реальной модели. В связи с этим, в современной экологии реальные (материальные) модели и знаковые (идеальные) используются параллельно, дополняя и обогащая друг друга.

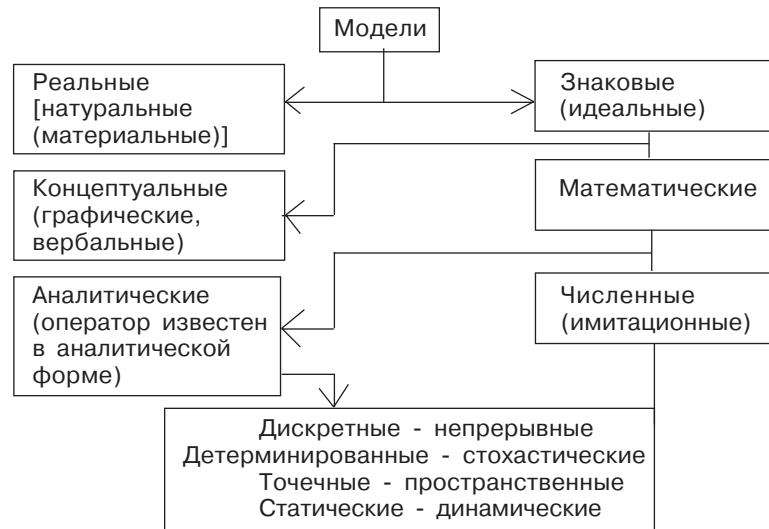


Рис. 9. Классификация моделей по В.Д.Федорову, Т.Г.Гильманову [10]

Первыми математическими моделями простейших экологических систем “хищник-жертва” и “паразит-хозяин” были теоретические разработки В.Вольтерры (1931). Сейчас благодаря современной технике возможно моделирование более сложных саморегулирующихся систем с обратной связью - популяций, биоценозов, биогеоценозов и влияния на них антропогенного стресса.

Важное место занимает моделирование процессов, способствующих самовоспроизводству природных ресурсов.

Возможности моделирования - упрощение реального процесса, выделение главной сущности объекта, способность уменьшить (глобус) или увеличить (клетка) подобие объекта, замедлить быстропротекающие процессы и ускорить медленнопротекающие делают моделирование важнейшим методом прогнозирования экологических процессов.

В основу математического моделирования при экологическом прогнозировании положен принцип представления сложной биологической системы в виде отдельных подсистем (блоков, модулей, камер), связанных между собой функциональными связями, имитирующими либо поток веществ (в том числе и загрязняющих), либо регулирующих воздействия, либо пространственные миграции, либо развитие организмов и т.д.

Экологический прогноз возможен с помощью математических моделей только при наличии данных о “нулевой точке отсчета”, т.е. о ненарушенной природной системе (фоновый уровень загрязнителей). В последние годы среди прогнозистов широко используется понятие “**мониторинг**”, т.е. система наблюдений за состоянием окружающей среды, сбора и анализа данных, позволяющих прогнозировать развитие экосистем.

Программа фоновой экологической мониторинга реализуется в “биосферных заповедниках”. Создание и управление сетью биосферных заповедников осуществляется в рамках Программы ЮНЕСКО “Человек и биосфера” (MAB - “Man and Biosphere”), ее участники - 110 государств-членов ЮНЕСКО, включая Россию. Часть мировой сети биосферных заповедников

расположена на территории РФ. Они выполняют роль эталонов природы, резерватов и пунктов мониторинга.

В настоящее время модели чаще всего используются для решения конкретных сегодняшних задач: выясняются уровень допустимых антропогенных нагрузок, последствия применения пестицидов, какую природную среду необходимо контролировать в первую очередь в данном регионе и т.д.

Первой моделью прогнозирования расхода ресурсов была модель Т.Мальтуса (1798). Известны динамические мировые модели Дж.Форрестера (1970), Д.Медоуза (1972); М.Месаровича и Э.Пестеля (1974) [10].

В конце 70-х годов под руководством **Н.Н.Моисеева** (р.1917) была разработана **модель биосферы “Гея”**. Она состояла из двух взаимосвязанных систем. Первая описывала процессы, происходящие в атмосфере и океане. Вторая - кругооборот веществ в природе (прежде всего углерода). В основу математической модели положены такие локальные модели, как испарения с поверхности океана и конденсация воды в атмосфере, поглощение углекислоты морской водой, перенос энергии атмосферой, реакция фотосинтеза, отмирание растений, распределение биомассы на поверхности Земли и др. На базе модели “Гея” был выполнен расчет различных сценариев изменения климата на планете под воздействием ядерного взрыва, крупного пожара и извержения вулкана, создания крупного локального топливно-энергетического комплекса, изменения горного ландшафта.

В первой половине 80-х годов ученые различных стран создавали глобальные математические модели с целью прогнозирования последствий ядерной войны. Наиболее обширными были модель К.Сагана и модель “Гея”. В значительной степени именно исследования ученых стимулировали политические решения государств по сокращению ядерных вооружений и сформировали представления о последствиях ядерной войны для Земли.

В настоящее время необходимы глобальные математические модели, в которые входили бы подсистемы взаимодействий между атмосферой и водой, атмосферой и поверхностью почвы, процессы в каждом из элементов окружающей среды, взаимодействие верхнего слоя атмосферы с Космосом, механизмы саморегулирования в природе, влияние разумной деятельности человека на окружающую среду. При значительном объеме возможностей подобная модель должна быть достаточно детальной для регионов Земли. На такой модели можно будет оценивать крупные инженерные решения, деятельность городов, варианты гидросистем, размещение заводов и т.п.

4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

4.1. Экологическая география

Экологическая география - учение о географическом распространении экосистем.

Для наземно-воздушной среды, так же как и для водной, характерна четкая выраженная географическая зональность.

Любые сочетания растительного и животного мира соответствуют морфологическим подразделениям географической оболочки Земли - климатическим зонам.

Различают широтные и меридиональные или долготные природные зоны.

Первые тянутся с запада на восток, вторые - с севера на юг. В долготном направлении широтные зоны подразделяются на подзоны, а в широтном - на провинции.

Животные и растения тесно связаны с условиями, характерными для каждой зоны, в которой они обитают, и адаптируются прежде всего к комплексу климатических факторов, которые в свою очередь зависят от почвенных условий, рельефа, от географических и ряда других особенностей той или иной местности. Вот почему в основу распределения биогеоценозов с их специфическим набором растений, животных и микроорганизмов могут быть положены климатические зоны земного шара. Г.Вальтер выделяет **шесть главных климатических зон**:

1. Экваториальная зона.
2. Тропическая зона.
3. Зона сухих субтропиков.
4. Переходная зона (Средиземноморье, Калифорния, юг и юго-запад Австралии, юго-запад Южной Америки и др.).
5. Умеренная зона подразделяется на подзоны:
 - теплого умеренного климата (Южная Африка);
 - типичного умеренного климата (центральная Европа);
 - аридного умеренного климата континентального типа (центральная Азия);
 - бореального или холодного умеренного климата (Северная Америка и Северная часть Евразии).
6. Арктическая (антарктическая) зона.

Каждая климатическая зона характеризуется своеобразной растительностью и животным населением. Наиболее богаты жизнью и продуктивны тропические леса, поймы крупных рек, прерии и леса субтропиков и переходной зоны. Менее продуктивны пустыни, луга и степи.

Зональное распределение биогеоценозов обусловлено рядом факторов. Если, к примеру, то или иное растение или животное не встречается в какой-либо природной зоне, причиной этого могут быть высокие горные хребты или водные пространства, условия влажности, недостаток пищи и др.

Одним из важных условий изменчивости организмов и их зонального перемещения и размещения по планете служит изменчивость химического состава среды. В этом отношении большое значение имеет **учение А.П.Виноградова о биогеохимических провинциях**, которые определяются зональностью химического состава почв, а также климатической, фитогеографической зональностью биосферы.

Биогеохимические провинции - это области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию в них (в почвах, водах и т.д.) химических соединений, с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны.

Наряду с горизонтальной зональностью в наземной среде четко проявляется вертикальная поясность. В целом для планеты характерно изменение животного населения и растительности в направлении от основания гор к вершинам, подобно широтной зональности. При подъеме в горы повторяется та же смена зон, что и от экватора к полюсам: у подножия обычно располагаются пустыни, затем степи, широколиственные леса, хвойные леса, тундра и, наконец, льды. Однако полной аналогии все же нет. Горы имеют специфичные растительность и животное население.

Географическая зональность - закономерность дифференциации географической оболочки Земли. Проявляется в последовательной и определенной смене географических поясов и зон, обусловленной главным образом характером распределения лучистой энергии Солнца по широтам (уменьшается от экватора к полюсам) и неравномерностью увлажнения. Географической зональности подчинены климатические, гидрологические, геохимические, геоморфологические, почвенные и другие процессы. Наиболее отчетливо зональность проявляется на крупных равнинах (например, на

Восточно-Европейской, Западно-Сибирской). В горах зональность проявляется в смене характерных спектров, высотной поясности и осложняется влиянием экспозиции склонов.

Принцип географической зональности сформировал **А.Гумбольдт** (1769-1859). А.А.Григорьев и М.И.Будыко вывели закон периодической географической зональности, который гласит: “Со сменой физико-географических поясов аналогичные ландшафты и их некоторые общие свойства периодически повторяются”.

4.2. Экологические возможности окружающей среды

Экологические возможности окружающей среды - это природно-ресурсные возможности; выделяются биологические, рекреационные, агроклиматические, водные, почвенные, полезные ископаемые, энергия ветра, воды, солнечная радиация, атмосферный воздух и т.д.

Природные ресурсы в широком смысле - это все природные блага, удовлетворяющие экологические, экономические, культурно-оздоровительные потребности человека и общества; в узком смысле - естественные источники удовлетворения потребностей материального производства (земельные, водные, лесные, минеральные ресурсы).

Существует много классификаций природных ресурсов, основанных на различных целевых подходах к их эксплуатации.

Ресурсы классифицируют с точки зрения их доступности, происхождения, химической природы, по принадлежности к тем или иным компонентам природы, по назначению, по сфере использования (рис. 10).

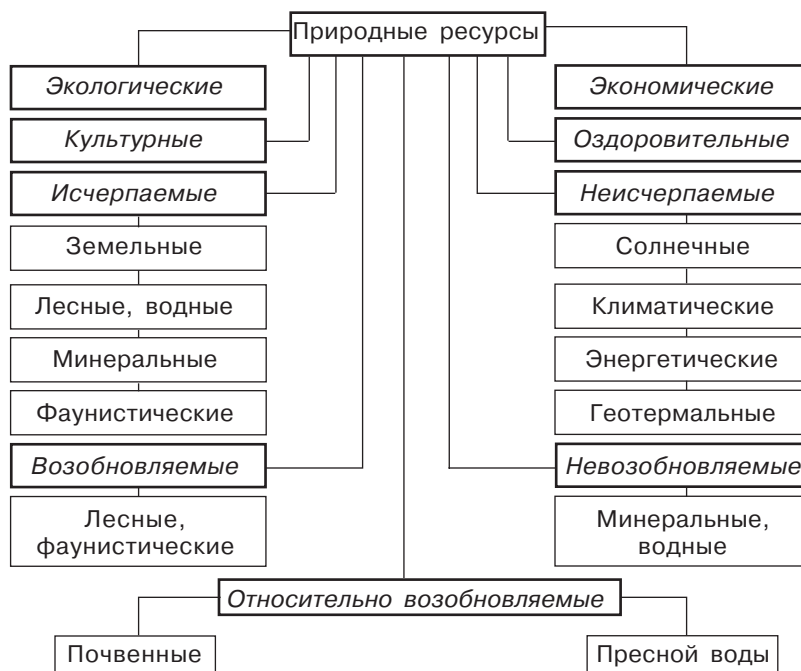


Рис. 10

Выделяют также **экологические ресурсы** - это качество окружающей среды, соответствующее требованиям человеческого организма.

Свод экономических, экологических, организационных и технических показателей, характеризующих количество и качество природного ресурса, состав и категории природопользователей, называется **кадастром природного ресурса**. Единого кадастра природных ресурсов не существует. Кадастры представлены по видам природного ресурса.

Через определенное время (периодически) кадастры обновляются.

Данные кадастровой оценки применяют при планировании использования ресурса, для оценки степени рациональности использования, при определении платежей за ресурс и т.д. (рис. 11)

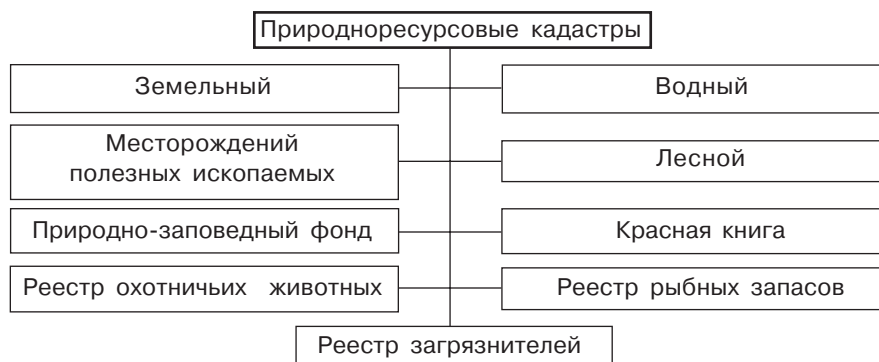


Рис. 11

Качество природных ресурсов: В связи с загрязнением вод, почвы, воздуха промышленными, сельскохозяйственными, бытовыми стоками и выбросами резко ухудшилось их качество; истощение богатых месторождений привело к эксплуатации месторождений с низким содержанием полезных продуктов, что увеличило загрязненность среды.

4.3. Ограниченность экологических (природно-ресурсных) возможностей окружающей среды

Негативные изменения экологических возможностей окружающей среды проявляются в истощении биологических ресурсов (сокращаются площади лесов, число биологических видов животных, растений, микроорганизмов), рекреационных ресурсов, водных ресурсов (рек, морей, океанов) и их биологического разнообразия.

Необходимость охраны экологических (природно-ресурсных) возможностей окружающей среды определяется невозполнимостью и незаменимостью многих из них для жизни и деятельности человека.

Взаимоотношения человека и живых организмов сложны и разнообразны.

Человек сокращает численность и биомассу растений и животных, используя их как ресурс, отравляя химическими средствами, разрушая их местообитание.

За последние 370 лет, по некоторым данным, с лица Земли исчезло около 130 видов птиц и млекопитающих, а сотни видов вписаны в **Красную книгу** - перечень и описание видов, находящихся под угрозой исчезновения. Многие виды сохранились только в зоопарках.

Международный союз охраны природы (МСОП) издал 5 томов международной Красной книги, куда включены 1182 вида животных и 20 тысяч видов растений.

Утрата любого, даже самого бесполезного, на первый взгляд, вида означает необратимое обеднение генетического фонда планеты, снижение биоразнообразия - основы устойчивости экосистем.

Ограниченность экологических возможностей окружающей среды ставит перед человечеством задачу их охраны и рационального использования.

5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС

5.1. Понятие экологического кризиса

Под **экологическим кризисом** понимается та стадия взаимодействия между обществом и природой, на которой до предела обостряются противоречия между экономикой и экологией, экономическими интересами общества в потреблении и использовании природной среды и экологическими требованиями обеспечения охраны окружающей природной среды. Это устойчивое нарушение равновесия между обществом и природой, проявляющееся в деградации окружающей природной среды - с одной стороны, и неспособности государственных управленческих структур выйти из создавшегося состояния и восстановить равновесие общества и природы - с другой стороны.

Понятие "экологический кризис" впервые вошло в употребление в 70-х годах XX века в развитых капиталистических странах, переживавших в то время обострение противоречий между ростом производительных сил и охраной окружающей среды.

Как экологический кризис можно охарактеризовать современное положение в России.

5.2. Структура экологического кризиса

Деградация окружающей природной среды - это разрушение или существенное нарушение экологических связей в природе, обеспечивающих обмен веществ и энергии внутри природы, между природой и человеком, вызванное деятельностью человека, проводимой без учета законов развития природы.

Деградация окружающей природной среды прежде всего сказывается на здоровье человека и состоянии его генетического фонда. Более 20% территории России находится в критическом экологическом состоянии, в районе зон экологического бедствия. В настоящее время более 70 млн людей дышит воздухом, насыщенным опасными для здоровья веществами, в 5 раз и более превышающими предельно допустимые нормы. Сокращается рождаемость и увеличивается смертность населения. Средняя продолжительность жизни в стране 69,5 лет, что на 8-10 лет меньше средней продолжительности жизни людей в 44 капиталистических странах. Каждый десятый ребенок в бывшем СССР (и следовательно в значительной части России) рождается генетически неполноценным. У 45% призывников выявлены нарушения психики. По данным 1990 г. более 50% населения бывшего СССР имеет ослабленное здоровье, из них 50 млн человек относится к числу хронически больных либо физически неполноценных. Каждая четвертая женщина не может родить по генетическим обстоятельствам здорового ребенка, каждый четвертый мужчина - импотент.

Деградация окружающей природной среды и ее последствия - лишь одна сторона проявления экологического кризиса. Другой стороной, социальной,

является **кризис государственных и общественных структур**, не способных обеспечить проведение эффективных мер по экологической безопасности общества. Внешне это проявляется, во-первых, в недостаточно эффективной работе специальных органов по охране окружающей природной среды, специальных органов по охране и использованию лесов, рыбных ресурсов, животного мира, недр.

Во-вторых, экологический кризис проявляется в неспособности правоохранительных органов обеспечить надежный контроль и надзор за выполнением законов об охране окружающей среды.

В-третьих, экологический кризис проявляется в социальном аспекте в массовом эколого-правовом нигилизме, то есть в массовом неуважении эколого-правовых требований, в нарушении или невыполнении их.

Рис. 12 подводит итог вышеизложенного.



Рис. 12. Экологический кризис: Структура. Причины. Пути выхода

5.3. Причины экологического кризиса

Отрицательное действие человека на окружающую среду началось очень давно. Например, оголение горных склонов Ливана произошло около 5000 лет назад, когда по приказу царя Соломона для строительства дворцов и храмов вырубали рощи ливанских кедров на значительной территории. Густые леса Далмации начали интенсивно уничтожать при создании римского флота. На большей части Китая и Индии леса были полностью вырублены еще в прошлом тысячелетии.

В государствах античного мира техногенез стал важным фактором изменения окружающей среды: была коренным образом изменена природа долин Нила (Египет), Хуанхэ (Китай), Тигра и Евфрата (Вавилония), Аму-Дарьи (Хорезм) и др.

В античную эпоху использовались лишь 19 элементов, в XVIII в. - 28, в XIX в. - 50, сейчас - все 89 природных элементов, а также ряд искусственных - плутоний, нептуний, калифорний и др.

К глобальному экологическому кризису ведет неумеренная хозяйственная деятельность человека. Площадь антропогенных пустынь достигает 8% суши, города и промышленные зоны занимают более 2%. По аэрокосмическим данным ежегодно в мире вырубается от 7 до 20 миллионов га леса, тропические леса - основной поставщик O_2 в атмосферу Земли - вырублены на 50%, леса умеренного пояса - на 40%. Вырубка лесов резко усиливает эрозию почв, запыление атмосферы, нарушает глобальные круговороты воды, CO_2 и O_2 . Принос SO_2 в

Скандинавию из Англии и ФРГ привел к вымиранию лососей, поскольку pH в ряде рек уменьшилась до 4,0. В канадской провинции Онтарио из-за кислот дождей, поступающих из США, стали безжизненными более 150 озер. Более 50% SO_2 в атмосфере Земли имеет техногенное происхождение. В десятки раз выше нормы содержание тяжелых металлов, органических соединений и нефтепродуктов в среднем и нижнем течении крупнейшей реки США - Миссисипи. В Молдавии постоянное многолетнее опрыскивание виноградников медным купоросом (защита от вредителей) привела к заражению почв солями меди (до 1-2% Cu^{2+}).

В реках и каналах Санкт-Петербурга илы резко обогащены органическими соединениями (до 30%) и тяжелыми металлами; илы в реках и прудах на территории Москвы наряду с органикой резко обогащены никелем, хромом, молибденом, ванадием, медью, свинцом, цинком, оловом.

Английские биохимики установили, что кости первобытных людей из погребений возрастом 5000 лет содержат, в среднем, $1,43 \times 10^{-3}$ % Pb, а кости современных людей - уже $3,45 \times 10^{-3}$ %, т.е. содержание свинца в костях возросло вдвое, что увеличивает опасность появления переломов костей и др.

В Японии сброс отходов промышленности в р.Агано и залив Минамата привел к концентрированию метилртути в рыбах, крабах, устрицах. Потребление их в пищу вызвало опасную "болезнь Минамата". Промышленные отходы, содержащие Cd, привели в Японии к гибели сотен людей в районе Тояма. Это новая "техногенная" болезнь называется "итай-итай".

Для крупных промышленных городов всего мира характерно загрязнение свинцом; почвы и растения городов содержат Pb в 20-30 раз больше, чем за их пределами. Загрязнение атмосферы городов выхлопами машин (CO_2 , CO, NO, SO_2) вредно не только для дыхательных путей, но и наносит существенный вред архитектуре - облицовке зданий, состоянию бронзовых и мраморных статуй и т.д. Афинскому Акрополю за последние 25 лет нанесено больше вреда, чем за предыдущие сотни лет.

Для оптимизации среды городов необходимо внедрение безотходных технологий, строительство очистных сооружений, уменьшение числа котельных, борьба с выхлопными газами автомашин (каталитические дожигатели), озеленение.

Особую экологическую опасность представляют автотрассы. В США исследования полосы шириной 50 м по обочинам шоссе 1 и шоссе Вашингтон - Балтимор показало, что за счет заражения почвы земляные черви резко обогащены свинцом, цинком, никелем и кадмием; птицы, поедающие этих червей, погибают от отравления тяжелыми металлами.

Внимание экологов привлекает проблема сине-зеленых водорослей. Строительство ГЭС на Волге, Днепре, Дону уменьшило проточность воды в реках, возникли застойные зоны, куда сносятся фосфор, нитраты, калий с удобряемых полей. В итоге вода "цветет", бурно развиваются сине-зеленые водоросли, в воде исчезает кислород, гибнет рыба, вода обогащается продуктами гниения и становится негодной для питья.

Борьба с сине-зелеными водорослями осложнена их исключительной устойчивостью. Они развиваются даже в горячей воде урановых котлов атомных реакторов. Вместе с тем водоросли концентрируют ценные элементы, и в Японии, например, озерные сапропелевые осадки, возникающие за счет остатков простейших водных организмов, идут на удобрения, в корм скоту и даже в пищу населению.

В глобальном масштабе идет загрязнение вод океана. Съемки из космоса показали, что до 30% поверхности океана содержит нефтепродукты. Нефтяное загрязнение в связи с катастрофами гигантских танкеров с сотнями тысяч тонн нефти на борту иногда принимает характер экологических катастроф; такое событие имело место у берегов Аляски в 1986 г.; у берегов Японии - в 1996 г. и т.д. Особенно загрязнены внутренние моря и прибрежные воды Балтийского, Черного, Средиземного, Эгейского и др. морей. Сюда в огромном количестве поступают техногенные загрязнители - хлороорганические токсиканты (ДДТ, полихлорированные бифенилы и др.), радионуклиды (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^3H , ^{144}Ce), нитраты и фосфаты минеральных удобрений, нефтепродукты, тяжелые металлы - Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, As, Cr. В зараженной воде в огромных количествах размножаются микроорганизмы, что сопровождается массовой гибелью рыб: такие явления наблюдались у берегов Калифорнии и Флориды.

Среди причин истощения, загрязнения и разрушения природной среды, исходящих от антропогенной деятельности человека можно выделить объективные и субъективные. К **объективным** можно отнести следующие.

Во-первых, это **предельные способности земной природы к самоочищению и саморегуляции**. До определенного времени земная природа перерабатывает, очищает отходы человеческого производства, как бы защищая себя от их вредного воздействия. Но возможности ее ограничены.

Во-вторых, **физическая ограниченность земельной территории в рамках одной планеты**. Вследствие этого запасы полезных ископаемых - каменного угля, нефти и других, которые используются человеком, постепенно расходуются и перестают существовать.

В-третьих, **безотходность производства в природе и отходность человеческого производства**. В природе производство осуществляется по замкнутому циклу. Оно безотходно. Конечный же продукт производственной деятельности становится исходным для нового производственного цикла. В отличие от природного человеческое производство является отходным. Подсчитано, что для жизнедеятельности человека необходимо в год расходовать не менее 20 т природных ресурсов. Из них лишь 5-10% идут на продукцию, а 90-95% поступают в отходы.

В-четвертых, познание и использование человеком законов развития природы в процессе использования природы и накопления опыта.

Здесь следует назвать **две особенности проявления результатов воздействия человека на природную среду.** Первая касается влияния **во времени.** Результаты производственно-хозяйственной деятельности, загрязнение окружающей среды, разрушение ее экологических связей проявляются не только в настоящем, при жизни данного поколения, но и в будущем, при жизни других поколений.

Вторая особенность относится к проявлению последствий хозяйственной деятельности **в пространстве.** Воздействие, оказываемое хозяйствованием на природу в определенном месте, в определенной точке, благодаря действующим законам единства и взаимосвязи природной среды оказывает свое влияние на другие регионы, отдаленные от точки воздействия человека на окружающую среду.

К субъективным причинам относятся:

Во-первых, недостатки организационно-правовой и экономической деятельности государства по охране окружающей среды.

Во-вторых, дефекты экологического воспитания и образования.

Экологическое невежество - нежелание изучать законы взаимосвязи человека и окружающей среды.

Экологический нигилизм - нежелание руководствоваться этими законами, пренебрежительное отношение к данным законам. Оба этих фактора также влияют на состояние окружающей среды.

Экологический кризис (ЭК) характеризуется (Реймерс, 1992) не столько, усилением воздействия человека на природу, сколько (и это следует особо подчеркнуть) резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие (эффект бумеранга). Наиболее известны экологические кризисы перепромысла крупных позвоночных животных (50-10 тыс. лет назад) и современный экологический кризис. **От экологического кризиса следует отличать экологически проблемную ситуацию и катастрофу экологическую:** кризис - обратимое состояние, в котором человек выступает активно действующей стороной, катастрофа - необратимое явление, человек тут вынужден пассивная, страдающая сторона, он не может изменить ситуацию; в более широком эволюционном понимании ЭК - фазы развития биосферы, на которых происходит качественное обновление живого вещества (относительно быстрое вымирание одних видов и возникновение других).

В предыстории и истории человечества выделяют следующие экологические кризисы (рис. 13): 1) доисторическое и доантропогенное изменение среды обитания живых существ, вызвавшее возникновение прямоходящих антропоидов - непосредственных предков человека; 2) относительно объединение доступных примитивному человеку ресурсов промысла и собирательства, обусловившее стихийные биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для ее лучшего и более раннего (с наступлением весны, влажного периода года) роста; 3) первый антропогенный ЭК - массовое уничтожение (перепромысел) крупных животных - "кризис консументов", связанный с последовавшей за ним сельскохозяйственной экологической революцией; 4) ЭК засоления почв и деградации примитивного поливного земледелия, недостаточности его для растущего народонаселения Земли, приведший к преимущественному развитию неполивного земледелия; 5) ЭК массового уничтожения и нехватки растительных ресурсов ("кризис продуцентов"), связанный с бурным развитием производственных сил общества; этот ЭК опосредованно вызвал широкое вовлечение минеральных ресурсов, промышленную, а затем и научно-техническую революцию; 6) современный кризис угрозы недопустимого глобального загрязнения (редуценты не успевают

Вектор усиления
антропогенного воздействия



Рис. 13. Экологические кризисы и революции (масштаб условный)

очищать биосферу от антропогенных продуктов или потенциально не способны это сделать в силу неприродного характера выбрасываемых синтетических веществ, поэтому этот кризис можно назвать “кризисом редуцентов”), которому соответствует высший этап научно-технической революции - реутилизации продуктов и условного замыкания технологических циклов. Почти одновременно с “кризисом редуцентов” наступает два других экологических напряжения - термодинамическое (кризис термодинамический) и снижения надежности крупных экологических систем. Связаны они с экологическими ограничениями производства энергии в приземном слое Земли и нарушением природного экологического равновесия. Эти ЭК ближайшего будущего будут разрешены на основе революционного изменения энергетики и широкомасштабного экологического планирования. Первое будет заключаться в максимальной

экономии энергии и переходе к ее источникам (прежде всего солнечным), почти не добавляющим тепло в приземный слой атмосферы, второе - в регулируемом использовании природных экосистем, оптимизации соотношения естественных и преобразуемых человеком их разновидностей.

6. ЭКОЛОГИЯ КАК НАУЧНАЯ ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Загрязнение природной среды вредными для человека отходами, истощение природных ресурсов и угроза разрушения экологических связей в природе породили форму взаимодействия общества и природной среды, которая называется **охраной природы**. Эта форма - реакция на разрушительную деятельность человека в окружающей среде. В отличие от потребления это осознанная форма общественной и государственной деятельности, направленная на сохранение и воспроизводство природных ресурсов.

Идея охраны природы возникла еще в XIX в. и рассматривалась как защита памятников природы, ее реликтовых и достопримечательных объектов от разрушения, повреждения человеком.

Постепенно идея консервативной охраны природной среды перерастала в другие формы природоохранительной деятельности. Будучи вторичной формой взаимодействия общества и природы, охрана природы возникает и совершенствуется по мере роста потребления и использования природной среды. Разумеется, нет надобности охранять природу, если ей никто и ничто не угрожает повреждением или уничтожением. Охрана появляется и совершенствуется там, где возникает угроза уничтожения природной среды, где возникает и развивается потребление природы. Исторически подтверждается, что охрана природы как форма природоохранительной деятельности государства, как его функция развивалась и совершенствовалась по мере роста производительных сил, увеличения масштабов производства, усиления экономического прессы над природной средой.

Отсюда наряду с консервативной охраной природной среды в XX в. развивается вторая форма охраны окружающей среды, которая получила название **рационального использования природных ресурсов**. В понятие "рационального" вкладывается не только экономическое, но и экологическое содержание. Иначе говоря, рациональное - это экономное, бережное использование источников природного сырья, природных ресурсов с учетом требований охраны окружающей среды. Поэтому нельзя считать рациональным такое бережное, экономное, эффективное использование природных ресурсов, которое оставляет глубокий отрицательный след на состоянии окружающей среды.

В середине XX в. (50-60 гг.) проблема рационального использования природных ресурсов как форма охраны природы перерастает **в защиту, оздоровление окружающей человека среды**. В отличие от предшествующих форм, где непосредственным объектом охраны являлись природные объекты и их ресурсы, здесь защита окружающей природной среды выдвигает в качестве непосредственного объекта охраны **человека, его жизнь, его здоровье, его генетическое будущее**.

Постепенно эта форма защиты становится главной и определяющей.

Здоровье и благосостояние человека связано с преобразованием окружающей среды в процессе эксплуатации природных ресурсов. Поэтому в современных нормативных документах отражено единство природопользования и охраны природы, т.е. даже в их названии говорится об "охране природы и рациональном использовании природных ресурсов".

Рациональное природопользование - это такая система хозяйствования, при которой достигается неисчерпаемость его энергетической и сырьевой базы в сочетании с сохранением параметров среды обитания, необходимых человеку как биологическому виду и разумному социальному существу.

Изменения окружающей среды связаны не только с выбросами и сбросами вредных веществ, но и с изменениями режимов физических факторов, особенно в условиях производства и при направленном преобразовании ландшафтов (создание городов, промышленных комплексов, карьеров, водохранилищ, вырубка лесов и т. п.). Результатом являются климатические изменения на больших территориях, эрозия почв, "наведенные" землетрясения, появление "рукотворных" пустынь. Локальные изменения качества окружающей среды могут перерасти в глобальные и принимать форму кризисных экологических ситуаций.

Можем ли мы, пользуясь природой, в то же время сохранить ее качество для себя и последующих поколений? Этот вопрос имеет однозначно положительный ответ: можем. Эксплуатация природных ресурсов и природных систем, преобразование обществом окружающей его среды могут (а значит должны) не выводить ее параметры за пределы экологических требований человека. Но для этого нужно выполнить ряд условий. Обратимся к рис. 14.

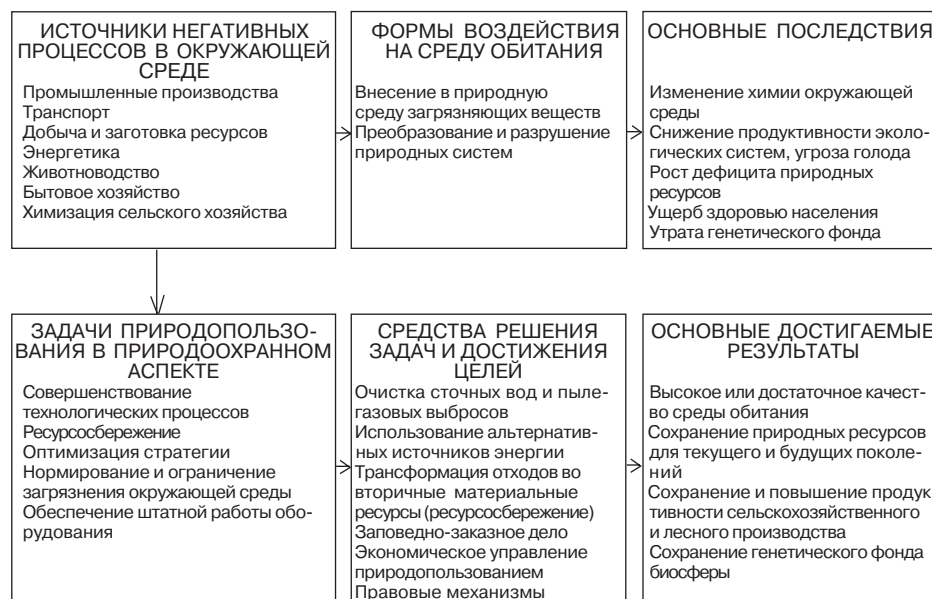


Рис. 14. Алгоритм решения природоохранных задач на основе инженерных и организационных мероприятий

Верхняя часть схемы показывает, что разные отрасли деятельности (левый блок) порождают возможные негативные последствия для окружающей среды вследствие преобразования природных систем и поступления в них отходов (средний блок). Эти процессы сопровождаются разными негативными последствиями - от снижения продуктивности сельскохозяйственных культур до ухудшения здоровья населения (правый блок).

Три нижних блока отражают пути управления природопользованием с целью решения возникающих проблем. В левом нижнем блоке показаны некоторые возможные направления деятельности, с помощью которых можно преодолеть или компенсировать негативные последствия, т. е. решить экологические задачи. Разумеется, проще всего добиться этого за счет сокращения потребления ресурсов, но этот путь явно не оптимален. Опыт природопользования во всем мире показывает, что избежать экологического ущерба можно на основе прогрессивных инженерно-технических методов (нижний средний блок): барьеров между производством и природной средой в виде очистных сооружений, бессточных технологических процессов, ресурсосбережения, утилизации отходов в качестве вторичных материальных ресурсов, а также с помощью экономических и правовых рычагов.

Известно высказывание Д. И. Менделеева, что в химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье. Известен также американский афоризм о том, что загрязнение среды - это природные ресурсы, оказавшиеся не на своем месте. Таким образом, на основе грамотного управления природопользованием и ресурсосбережением (нижний левый блок) можно решать одновременно две задачи: ресурсную (обеспечение их неисчерпаемости) и экологическую (сохранение качества среды). Очевидно, что эти задачи решаются в основном инженерно-техническими и организационными методами.

Задачи специалиста любого производства с точки зрения экологии могут быть сформулированы следующим образом:

1. Оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений исходя из минимизации ущерба окружающей среде и здоровью человека.

2. Прогнозирование и оценка возможных негативных последствий для окружающей среды, человека, других животных, растительного мира со стороны любых акций в области природопользования.

3. Выявление, корректирование и предотвращение любых действий, технологий заготовки, транспорта, переработки ресурсов, которые могут нанести ущерб окружающей среде и здоровью (принцип "чего не делать, чтобы не причинить вреда").

Итак, окончательный вывод состоит в том, что **охранять природу - значит правильно ею пользоваться**, т.е. не доводить до необходимости охраны.

Но для того чтобы правильно пользоваться природой, не нанося ущерба ни ей самой, ни человеку как части природы, необходимо знать, как она организована, по каким законам существует. Ответы на эти вопросы и дают профессиональные знания в области экологии.

Современная экология является научной основой комплексной науки о сохранении окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов - охраны природы. Экология разрабатывает для нее теоретические положения. Очень многое в жизни экосистем, биосферы уже известно. Это дает возможность управлять осознанно многими процессами.

Как указывает С.С.Шварц, "... экология на наших глазах становится теоретической основой поведения человека индустриального общества в природе".

Все эти достижения экологии имеют огромное значение, потому что человечество вступило в такой период своего развития, когда любую деятельность необходимо соотносить с возможностями биосферы.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. *Составьте логическую схему базы знаний по теме курса.*

2. Начертите схемы 3-4 пищевых цепей, начиная с растений пшеницы.
Какое место в цепи питания занимает человек?

3. Крупнейший русский ученый К.А.Тимирязев, исследовавший фотосинтез растений, считал, что растения выполняют космическую роль на Земле. Подтвердите его точку зрения.

4. Одно из экологических бедствий - кислотные дожди. Они возникают, когда в каплях дождя растворяются промышленные газы, чаще сернистый ангидрид, с образованием серной кислоты.

Как это может повлиять на жизнь в почве?

5. Альbedo - величина, которая характеризует способность поверхности отражать падающий на нее поток электромагнитного излучения. В таблице приведены величины альbedo для различных территорий:

Территория	Альbedo, %
Земля в целом	28
Большой город, летом	10-30
Большой город, зимой	20-50
Влажный тропический лес	14
Пастбище	20
Пустыня	30
Снег, лед	70-90
Водная поверхность	6-30

Сформулируйте основные выводы из данных, приведенных в таблице, об альbedo планеты.

ЭКОЛОГИЯ

ЮНИТА 1

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Редактор Л.С. Лебедева
Оператор компьютерной верстки Д.В. Федотов

Изд. лиц. ЛР № 071765 от 07.12.98 г.
Тираж

Сдано в печать
Заказ

Современный Гуманитарный Университет