

В. В. Маврищев

# ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь в качестве  
учебного пособия для студентов  
небиологических специальностей  
высших учебных заведений



Минск  
"Вышэйшая школа"  
2000

УДК 574(075.8)  
ББК 20.1я 73  
М 12

Рецензенты: доктор биологических наук профессор  
Б. П. Савицкий, доктор биологических наук профессор  
Л. В. Камлюк

**Маврищев В. В.**

М12      Основы общей экологии: Учеб. пособие. – Мн.: Выш.  
шк., 2000. – 317 с.: ил.  
ISBN 985-06-0470-0.

Изложены основы современных представлений об общей экологии как науке об экосистемах. Рассмотрены предмет и методы экологии, среды обитания, разнообразие биологических сообществ, круговороты энергии и различных веществ в природе, распространение организмов, их реакции, регуляция численности, конкуренция, сообщество как основная экологическая единица, современная экологическая ситуация в мире.

Для студентов небιологических специальностей вузов, биологов, экологов. Может быть использовано географами, всеми, кто интересуется современными проблемами экологии.

УДК 574(075.8)  
ББК 20.1 я 73

© В. В. Маврищев, 2000  
© Издательство "Вышэйшая школа", 2000

ISBN 985-06-0470-0

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Вначале притча. Лягушку бросили в котел с водой и начали подогревать воду, доводя ее до кипения. Лягушка, поначалу не чуя беды и постепенно привыкая к повышению температуры, в итоге сварилась. Другую лягушку бросили в котел с кипятком. Получив температурный шок, лягушка выскочила из котла и осталась жива. Как ни прискорбно это говорить, но человечество в настоящее время напоминает собой первую лягушку, ибо еще до конца не осознало ту страшную опасность, которая нависла над ним.

Немецкий естествоиспытатель прошлого века Эрнст Геккель и думать не мог, что предложенный им термин «экология» не только получит применение в науке XX в., но и станет общечеловеческим, глобальным понятием, мерилom отношения человека разумного к окружающей его природе: к бурливой речке и едва журчащему ручейку, к зеленой травинке и раскидистому кусту, к изящной бабочке и дикому зверю в лесу...

Человеку XX в. тесно в своем доме, он задыхается в клетке-квартире, вынужден есть грязную пищу, пить несвежую воду и дышать отравленным воздухом. Организм его не может привыкнуть к этому, а поэтому быстрее стареет и изнашивается.

А как изменилось природное окружение человека за наш бурный, полный динамического развития век? Перечитайте страницы классиков, посвященные описанию картин природы. В них передается гармоничная взаимосвязь человека и природного окружения. И это в прошлый век, когда наиболее передовые мыслители уже начали бить в колокол тревоги и предупреждать человечество о грядущей опасности! Еще в 40-х годах XIX в. известный французский писатель Г. Флобер писал: «Если общество и впредь пойдет тем же путем, через две тысячи лет не останется ни травинки, ни дерева; они изведут природу». Флобер оказался неправ только в одном: не две тысячи, а лишь сто лет спустя человек подошел к той грани, переступить которую крайне опасно.

Вспомните слова земского доктора Астрова в пьесе А. П. Чехова «Дядя Ваня»: «Лесов все меньше и меньше, реки сохнут, дичь перевелась, климат испорчен, и с каждым днем земля становится все безобразнее».

И это действительно так. Каждую секунду вырубается площадь тропического леса величиной с футбольное поле. Каждый день исчезают три вида диких растений и животных. Каждый год площадь пустынь на земном шаре увеличивается на территорию, равную двум Бельгиям. Опасность нависла не только над окружением человека, она грозит прежде всего ему самому.

Экологические проблемы на современном этапе приобрели глобальный характер. Решение этих проблем требует международного сотрудничества на основе интеграции интеллектуального и практического потенциала в области охраны окружающей среды. Эти проблемы будут успешно решены, если каждый человек будет экологически мыслить и действовать.

На ионьской встрече глав семи промышленно развитых стран в Денвере (США) в 1997 г., где «семерка» с участием России расширилась до «восьмерки», среди рассматриваемых проблем на первом месте стояли вопросы экологии. Экологические проблемы в современном каждодневно меняющемся мире приобрели приоритетное значение. Любой шаг человечества в настоящее время должен соотноситься с оценкой экологической целесообразности. Вспомните недавнюю ирако-кувейтскую войну, когда полыхало огромное количество нефти в нефтехранилищах. Экологическая катастрофа в том регионе была довольно реальной. Даже космонавты, пролетавшие тогда над этим местом, отметили огромное черное пятно дыма, сажи и копоти, которое надолго закрыло Землю от Солнца. Каждый неосторожный шаг человека грозит обернуться трагедией.

Сейчас просто «экологического мышления» недостаточно. Насущная задача – сформировать экологическое мировоззрение. Для этого необходим экологический всеобуч – образование на экологической основе, экологизация знания.

Курс «Основы общей экологии» призван ознакомить студентов небологических специальностей вузов с основами экологических знаний и проблемами рационального использования природных ресурсов.

В учебном пособии используются фундаментальные биологические и экологические понятия, на которых базируются научные основы охраны природы. Особое внимание обращается на фор-

мирование у будущих специалистов связи научных знаний и умений с практической деятельностью в области охраны природы. Рассматриваются такие вопросы, как экологическое образование, экологическое мышление, анализируется комплексное воздействие факторов среды на организм человека. Обсуждается роль науки в охране природы, рациональном использовании естественных ресурсов, мониторинге окружающей среды. Уделено внимание основным экологическим проблемам Республики Беларусь.

Структура учебного пособия предполагает поэтапное приобщение студентов к основам экологического образования. В первой части даются основные понятия классической экологии: «факторы среды», «популяция», «биоценоз», «экосистема», «динамика экосистем», «биосфера» и др. Во второй части рассматриваются частные экологические вопросы: проблема загрязнения окружающей среды, перенаселение крупных городов, обеспечение населения Земли продуктами питания, влияние последствий чернобыльской аварии на популяцию человека, наследственные и приобретаемые болезни, умственные и физические недостатки, врожденная и приобретенная неполноценность людей.

В конечном счете человек – дитя природы. «Кладовой солнца» назвал ее Михаил Пришвин. Но черпать из этой кладовой нужно с большой осторожностью. Природа похожа на тонкую уязвимую паутину. Коснитесь одной паутинки – и задрожат все остальные.

Конечно, беречь и охранять природу можно по-разному. Прежде всего так, как это делалось в нашей стране в недалеком прошлом, постановлениями, указами, декретами. Стало ли от этого лучше? Конечно, нет. Потому что в этом трудном, но благородном деле нужно начинать прежде всего с себя, с обращения к нравственному началу каждого человека.

Нужно всегда помнить, что природа – незаменимый и вечно живой источник бесконечных открытий, родник здоровья и духовного богатства человечества во все времена. И поэтому можно понять слова Владимира Солоухина о том, что наш век, как и будущий, должен быть не только веком пластмассы и алюминия, но прежде всего веком зеленых трав, ярких цветов, чистых рек и лесов, обихожанных рукой разумного человека.

В заключение хочется привести еще одну притчу. Две лягушки попали в горшок со сметаной. Одна из них решила, что борьба за выживание напрасна: сложила лапки и тут же пошла на дно.

Другая решила бороться за свою жизнь. Она долго барахталась, и в конце концов сбила под собой комок масла и выбралась из горшка. Судьба человечества, а значит, жизнь — наша, наших детей и внуков — будет зависеть от того, насколько разумно мы будем «барахтаться» в природном окружении, чтобы преодолеть это, хотелось бы думать временное, кризисное положение.

Если «экология» — это наука о нашем доме, так давайте же сообща, все вместе, беречь свой дом и содержать его в порядке.

*В. В. Маврицев*

# Глава 1

## **ПРЕДМЕТ, СОДЕРЖАНИЕ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИИ**

«Человечество является частью природы, жизнь зависит от непрерывного функционирования природных систем...

Человек должен приобретать знания, необходимые для сохранения и расширения его возможностей по использованию природных ресурсов, сохраняя при этом виды и экосистемы на благо нынешнего и будущих поколений.»

*Из «Всемирной хартии природы», принятой 28 октября 1982 г. на 37-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН.*

В современную эпоху одной из наиболее развивающихся биологических наук является экология. Это и понятно. Именно экология держит ключи от того ларца, где, во-первых, скрываются секреты событий, происходящих в живом покрове нашей голубой планеты, и, во-вторых, имеются рецепты влияния, воздействия и преобразования этого тонкого и хрупкого слоя жизни.

В связи с грандиозным преобразованием природы возникла необходимость экологического образования и просвещения. Человечество начало осознавать, что для разумного использования природного окружения нужен целостный взгляд на природу и взаимоотношение человека с ней. Для правильного принятия решений очень важно знать и представлять себе, как устроен живой покров нашей планеты в целом и отдельные его составляющие на различных ее участках, поскольку каждый такой участок – это закономерно сложившаяся система. На помощь здесь должны прийти экология и общее экологическое мышление.

Уметь увидеть в единичном акте природы – будь то хищник, преследующий добычу, пчела, собирающая душистый нектар,



Рис. 1. Морская корова, обитавшая у берегов Камчатки в XVI—XVII вв.

редкое красиво цветущее растение или беззащитный птенец, выпавший из гнезда, — не просто забавный факт, а событие в сложнейшей цепи природных явлений, это уже осознание всеобщей связи природного целого. А отсюда совсем недалеко до мысли, что если вид находится на грани исчезновения, то восстановить его трудно, если не невозможно.

Можно привести несколько примеров исчезновения некоторых видов животных на нашей планете.

Первый такой пример — это планомерное уничтожение морской, или стеллеровой, коровы (*Rhytina borealis Stelleri*), некогда обитавшей в северных морях.

В 1741 г. российская экспедиция высадилась у небольшого лесистого острова у берегов Аляски. В составе экспедиции числился Георг Стеллер — немец, принятый на службу в Петербургскую академию наук. На обратном пути от американских берегов, вблизи острова Беринга, ученый заметил в океане странное животное с длинным округлым телом и с головой, похожей на собачью. Стеллер назвал это животное морской обезьяной. Когда



кончился провиант, моряки решили изловить необычное животное и попробовать его мясо. Сделать это было проще простого. Морские коровы питались исключительно водорослями и поэтому постоянно держались у берега. В краю непуганых зверей гигантские животные (вес их достигал 3,5 т) доверчиво подплывали к людям, за что многие из них и поплатились жизнью. Мясом одной взрослой морской коровы можно было две недели кормить 50 человек.

После открытия путей сообщения между Россией и Америкой на Командорские острова, у берегов которых обитали морские коровы, устремились толпы «промышленных людей». Они охотились на животных ради их вкусного мяса. Началось истребление беззащитных морских коров. Всего только 27 лет потребовалось, чтобы было убито последнее животное.

Вот еще пример. Стаи североамериканских странствующих голубей, в которых насчитывалось до 100 млн особей, во время ежегодных перелетов буквально заслоняли небо на несколько часов. В 1907 г. был убит последний дикий странствующий голубь, а 1 сентября 1914 г. в зоопарке американского города Цинциннати умерла голубица Марта – последняя представительница когда-то столь многочисленного вида.

В 1933 г. погиб последний представитель восточного подвида американского степного тетерева, несмотря на то что с 1910 г. зоологи прилагали немалые усилия, чтобы сохранить для человечества жалкие остатки популяции этих птиц.

Эти примеры – капля в море. За последние триста лет на Земле полностью истреблено около 300 видов птиц и млекопитающих. Во имя чего? Во имя удовлетворения низменных человеческих потребностей. Такой подход к представителям дикой фауны и флоры господствовал во всех сферах взаимоотношений общества с природой. Ни о каком экологическом мышлении и сознании говорить не приходилось. Да этого и не могло быть, поскольку во многом представители человеческого племени руководствовались, к примеру, таким печально известным лозунгом: «Мы не можем ждать милостей от природы; взять их у нее – наша задача». На подобных декларациях было воспитано несколько поколений людей, которые затем стали внедрять в жизнь безграмотные проекты по изменению среды обитания. К чему это все привело, мы видим собственными глазами.

## ПРЕДМЕТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИИ

За последние 20–25 лет слово «экология» стало очень модным. Мы часто слышим его по радио и в повседневных разговорах, на парламентских чтениях и в телевизионных дебатах, и каждый полагает, что он правильно понимает его значение. Но так ли это? Даже среди специалистов существуют значительные расхождения во мнениях относительно того, что нужно понимать под экологией и чем она должна заниматься.

Термины «экология», «экологический» превратились к концу XX в. в емкие понятия, охватывающие и отражающие те глобальные изменения, которые произошли не только в среде, окружающей человека, но и в самих взаимоотношениях между людьми. Именно поэтому, несмотря на неконкретность понятия «экология», а порой и противоречивый его смысл, оно стало удобным инструментом в руках политиков, социологов, представителей средств массовой информации. Слово «экология» в наши дни можно прочесть на лозунгах, под которыми проходят демонстрации представителей экологического движения, в статьях юристов, экономистов, представителей других профессий. В стороне остались только биологи — ученые, исканиями которых этот термин обрел жизнь и дал новое направление в современной науке.

Так что же такое экология? Этико-философская концепция и форма защиты растений и животных? Движение протеста против ядерной энергетики и загрязнения окружающей среды? Неоромантическая тоска о возврате к природе? Научная дисциплина, отпочковавшаяся от биологии? Или нечто, соединяющее в себе все? Что это: философия, проповедь, миф, наука или мировоззрение?

На поставленный вопрос сейчас не так-то легко ответить, поскольку в последние годы слово «экология» с легкой руки непрофессионалов стало применяться довольно широко, охватывая при этом все формы взаимосвязей человека и окружающей среды. Постепенно оно утратило значение строго научного термина, употреблявшегося только экологами, и приобрело многообразный расхожий социальный, а порой и политический смысл.

Экологию стали трактовать прежде всего как науку об охране и рациональном использовании природы. По аналогии с таким широким определением получило распространение и предложенное академиком Д. С. Лихачевым выражение «экология культуры». Конечно, такое определение экологии вполне правомерно,

поскольку в конечном счете экология – часть общечеловеческой культуры. Д. С. Лихачев всегда подчеркивал, что экология – проблема нравственная. И хотя такая связь между экологией и нравственностью, казалось бы, понятна сама собой, в то же время она требует раскрытия. Человек остается один в лесу или в поле. Он может натворить бед, и единственное, что сдерживает его (если сдерживает), – его нравственное сознание, чувство ответственности, совесть. Но и человечество в целом в нынешнем его осознании также существует «наедине с природой».

На глобальном форуме по защите окружающей среды и развитию в целях выживания (Москва, 1990) выступала представительница коренного населения Америки, старейшина от народности онондага конфедерации ирокезов Одрей Тенандоа. Она сказала: «В языке ирокезов нет слова «природа». Нет потому, что наши люди не отделяли себя от природы, ощущали неразрывность с ней. В ней мы на равных правах со всеми животными и растениями. Всем людям вместе надо хранить это неразрывное единство природы».

Д. С. Лихачев пишет: «...Разработка проблемы нравственного отношения к живой и «мертвой» природе даже не начиналась. Здесь необходима ясная и всеми признаваемая философия экологии, исходя из которой будет строиться и этика экологии. ...Экология, с моей точки зрения, состоит из двух частей: части охранения природы и части охранения культуры. Последняя тем более важна, что она касается самой сущности человека. Человек есть часть природы, но он есть и часть созданной тысячелетиями культуры».

Не означает ли это, что только от нравственности человечества зависит его отношение к окружающему миру, к природе в частности? Но ведь совесть одного человека – нечто реальное при всей ее неопределенности, а совесть человечества как единого целого – это абстракция. Следовательно, все не так просто.

Вряд ли стоит протестовать против всех приведенных употреблений слова «экология», тем более что служат они в высшей степени благородным задачам сохранения природы и культуры, а в конечном счете гармоничному развитию человеческой личности и, возможно, всей биосферы. Уже сейчас мы поняли, что жизнь (не только человека) сама по себе достойна того, чтобы ее охранять.

Слово «экология» произошло от греческих слов «ойкос» (*oikos*) – дом, жилище, местопребывание и «логос» (*logos*) – нау-

ка. В дословном переводе слово «ойкос» означает «домоводство», что может быть сопоставимо со значением «домашнее хозяйство». Значение термина «экология» с течением времени сильно менялось.

В «Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона» (1904 г.) термин «экология» объяснялся следующим образом: «Экология, или ойкология, — часть зоологии, обнимающая собой сведения касательно жилищ животных, т. е. нор, гнезд, логовищ и т. п. До сих пор экология не достигла той степени развития, которая дала бы ей право на известную самостоятельность, так как до сих пор она еще не вышла из периода описаний и не выработала ни определенных методов, ни известной суммы обобщений. Экология ждет и экспериментальных исследований и обобщения».

Таким образом, в начале нашего века экология понималась как часть зоологии и ни в коей мере не претендовала на науку, обобщающую всю сумму биологических знаний, и не только их.

Со временем на то, что мы понимаем под экологией, выкристаллизовалось две точки зрения. Согласно одной, экология — это наука, изучающая взаимоотношения организмов и среды. Другие считают, что экология — это огромная отрасль знаний.

Теоретик современной экологии Н. Ф. Реймерс дает такое определение этой науки: «Современная экология — биологизированная (как и географизированная, математизированная и т. д.) биоцентричная наука, но не биология. Для экологии характерен широкий системный междотраслевой взгляд. Ее предмет — сохранение функциональной и структурной целостности того центрального объекта, который вычленяется в процессе исследования... Такая экология уже совсем не биология и никакая иная наука, она сама по себе, новый раздел знания, равный, а может быть, и более широкий, чем математика, физика, химия и так далее...». Далее он пишет: экология — «это совокупность отраслей знания, исследующих взаимодействие между биологически значимыми отдельностями и между ними и окружающей их средой».

Таким образом, с одной стороны, признается, что экология — это наука, а с другой — подчеркивается, что это совокупность научных дисциплин.

На наш взгляд, экологии все же следует отвести подобающее самостоятельное место в ряду наук о природе. Экология — наука сравнительно молодая и находится еще пока в фазе становления. Это связано с тем, что она в той или иной мере затрагивает почти все сферы жизнедеятельности живых организмов (и их совокупностей) и дея-

тельности человека. Это синтетическая наука, которая имеет полное право на существование в общей иерархии современных наук.

Кратко экологию можно определить как науку, изучающую отношения организмов между собой и окружающей средой, а также организацию и функционирование надорганизменных систем различного уровня: популяций, сообществ и экосистем, природных комплексов и биосферы.

Определений экологии в современной научной литературе множество. И почти все они концентрируют внимание на взаимоотношениях между живыми организмами и средой их окружения.

## СТРУКТУРА ЭКОЛОГИИ

В процессе становления экологии произошло смешение понятий того, что же определяет суть этой науки в общем и всей структуры экологического цикла наук в частности. Многие ученые-экологи всерьез озабочены тенденцией профанации экологического знания. Автоматически все стали называть «экологией» в том числе и охрану природы, и охрану окружающей человека среды. При этом два различных понятия были искусственно смешаны и в настоящее время рассматриваются в комплексе. Исходя из конечных целей, охрана природы и охрана окружающей среды близки между собой, но все же не идентичны.

Охрана природы ставит своими задачами решение глобальных биосферных процессов, где доминирующая самоценность придается нашей планете и сохранению естественных ресурсов для развития человечества. При этом ценность человека не противопоставляется другим биологическим видам. Здесь человек — органическая составляющая часть биосферной «пленки жизни».

Охрана окружающей среды, наоборот, исходит от самого человека и делает акцент на его жизненных потребностях в многообразных средах существования: социальной, природной, техногенной, антропогенной и других.

Таким образом, цели природоохранного и средоохранного знаний в общих чертах схожи (табл. 1). Они преследуют решение проблем сохранения природы Земли и окружающей человека природной среды в интересах существующего и будущих поколений людей, жизнеобеспечения человечества путем сохранения современной, благоприятной для нас структуры и динамики биосферы Земли. Однако в первом случае вектор действия направлен от природы к человеку, во втором — от человека к природным процессам.

Таблица 1. Схема классификации направлений природоохранной деятельности  
(по Эфрон К. М., 1983)

ОХРАНА ПРИРОДЫ		
Природоведение	Природопользование	Охрана среды
Структура и динамика биосферы Земли; географические изменения биологической продуктивности; изменения биологической продуктивности во времени (биологический оборот); антропогенные изменения биологической продуктивности и их причины	Рационализация землеустройства; рационализация природопользования; оптимизация природной среды населенных пунктов, производственных площадей и окружающих их местностей	Предотвращение и (или) снижение всех видов загрязнения природной среды; предотвращение и (или) снижение всех видов деформации среды, почв, поверхности и рельефа территорий и акваторий; сохранение и восстановление природных сред, условий процессов, образований, природных и природно-антропогенных комплексов; сохранение и восстановление растительного покрова и животного мира, видов растений и животных

Охрана природы, охрана окружающей среды, как и многие экологические области знания, составляют цикл прикладных наук о защите природы и среды жизни. Экология же — фундаментальная основа, на которой строится (или должно строиться) здание экологических знаний.

Экологию можно подразделить на две большие ветви: общую и частную (специальную).

**Общая экология** (биоэкология) изучает популяции, взаимоотношения между организмами, организмом и средой, экологию сообществ (биогеоценозов), природные комплексы и биосферу.

**Частная, или специальная, экология** занимается изучением экологических аспектов конкретных таксономических групп организмов (экология различных видов растений, животных, экология человека и т. д.) или сообществ (экология сельскохозяйственных экосистем — агроэкология, растительных сообществ — фитоценология и т. д.).

Взаимодействуя с природой на всех этапах своего развития, человечество столкнулось с проблемой безопасности жизнедеятельности. Развитие промышленности, сельскохозяйственного производства привело к возникновению негативных факторов, одинаково влияющих как на окружающую человека природу, так и на самого человека. Возникло новое направление экологии — *прикладная экология*. Такие науки, как промышленная (инженерная), сельскохозяйственная, промысловая экология, изучают возможность использования природных ресурсов и среды жизни, допустимые нагрузки на них, формы управления и хозяйствования. Они исследуют воздействие промышленности, транспорта, сельского хозяйства на природу и, наоборот, влияние естественной природной среды на функционирование промышленных предприятий и сельскохозяйственных комплексов.

Современная экология представляет собой как бы трехуровневое сооружение. В основании, на первом уровне, находятся отдельные особи. Выше располагаются популяции и сообщества, последний уровень занимают экосистемы. Каждый уровень характеризуется своими структурными и функциональными характеристиками.

В экологии как биологизированной науке в настоящее время выделяют три основные ветви: *аутоэкология* (экология особей и составленных ими видов; от греч. «аутос» — сам) — изучает взаимоотношения организма (вида, особи) с окружающей средой и исследует действие среды на морфологию, физиологию и поведение организмов; *демэкология* (экология популяций; от греч. «демос» — народ,

население) – изучает динамику популяций, описывает и устанавливает причины колебания численности различных видов; *синэкология* (экология сообществ, или биоценозов; от греч. «син» – вместе) – исследует взаимоотношения популяций и сообществ со средой. Часто к этим основным разделам добавляют еще биогеоценологию – учение о биогеоценозах, или экологических системах, и биосферологию – учение о функционировании биосферы.

## ИСТОРИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Обращаясь к истокам возникновения экологии, заметим, что по своему зарождению и особенно дальнейшему развитию она весьма отличается от других наук, большинство из которых (например, биологию) можно представить в виде ствола дерева, от которого отходят многочисленные ветви – цитология, гистология, физиология и т. п. Экология же представляет собой как бы массу корней, которые, сливаясь воедино, образуют общий ствол.

В основании находятся классические естественные дисциплины – ботаника и зоология. Затем следуют почвоведение и физическая география, геология, климатология, биохимия и микробиология, высшая математика (для построения моделей), социология, география населенности, психология, теория культуры, экономика. Различные дисциплины, образующие этот ствол, не всегда взаимосвязаны, и, вероятно, полной связи достичь не удастся никогда. Но, как это ни парадоксально, именно такое широкое слияние различных дисциплин придает экологии силу, вооружает ее средствами для поиска решений все более сложных проблем окружающей среды.

Временем возникновения экологии как науки можно считать середину XIX в., однако как признанная самостоятельная научная дисциплина экология оформилась около 1900 г.

Кто именно ввел термин «экология» в научный обиход – точно не известно. Пальма первенства отдается немецкому биологу Эрнсту Геккелю. В 1866 г. молодой профессор в своем капитальном труде «Всеобщая морфология организмов», классифицируя разделы биологии, впервые употребил термин «экология».

Конечно, ему и в голову не могло прийти, что именно его станут величать «крестным отцом», а иногда и основоположником новой научной дисциплины, значимость которой повышается с каждым годом. «Всеобщая морфология» вышла в свет в октябре 1866 г., а предисловие к ней подписано 14 сентября 1866 г. Счи-



тается, что эту дату и следует принять за официальный «день крещения» экологии.

«Под экологией, — писал Геккель, — мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего — его дружественных или враждебных взаимоотношений с теми животными и растениями, с которыми оно прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология — это изучение всех сложных взаимоотношений, которые Дарвин называет условиями, порождающими борьбу за существование.

...К сожалению, — пояснял профессор, — нам в большинстве случаев совершенно неизвестны эти крайне запутанные взаимоотношения, так как до сих пор им почти не уделялось внимания. Открывается огромная, столь же весьма интересная, сколь и чрезвычайно важная область для дальнейших исследований. Экология, или наука об экономии природы, которая до сих пор даже не упоминалась в учебниках, в этом отношении сулит блестящие и самые неожиданные плоды».

В разделе «Экология и хорология» Геккель пишет: «Под экологией мы подразумеваем общую науку об отношениях организма к окружающей среде, куда мы относим все «условия существования» в широком смысле этого слова. Они частично органической, частично неорганической природы; поскольку они, как мы отмечали выше, оказывают влияние на форму организмов, то тем самым они заставляют их приспособливаться к этим условиям».

Немецкого ученого в какой-то мере можно назвать провидцем с той точки зрения, что он, быть может неосознанно, предвидел всю важность проблем, которые призвана была решать экология. Геккель, дальновидный биолог, поддерживающий теорию Дарвина, сдабривал свои труды новыми и зачастую гармонично зву-



Эрнст Геккель  
(1834–1919)

чащими словами, большинство из которых сегодня забыто. «Экология» была самой удачной его находкой, если судить по популярности этого слова и тем научным достижениям, которые оно стимулировало.

К концу XIX в. термином «экология» начали пользоваться многие биологи, причем не только в Германии, но и в других странах. В 1868 г. в России под редакцией известного физиолога И. И. Мечникова вышел в конспективном изложении труд Геккеля «Общая морфология», где, видимо, впервые было упомянуто слово «экология» на русском языке.

Между тем корни экологии уходят в глубочайшую древность. Человек был не просто пассивным наблюдателем, а активным участником природных процессов и преобразователем природы. Уже наскальные изображения первобытных эпох, в которых современный человек узнает силуэты знакомых животных, являются свидетельством того, что проблемы первобытных людей в своей сущности были экологическими. Следует подчеркнуть, что экологические представления возникли непосредственно в связи с практическими запросами человечества. Множество интересных сведений об экологическом мышлении того времени оставили нам древние египетские, индийские, тибетские и античные источники. Читая древнеиндийские памятники литературы «Рамаяна» и «Махабхарата», можно найти сведения об изменении численности животных и даже об охотничьих запретах (на убой самок).

Предыстория экологии охватывает античный период и эпоху Возрождения. В работах таких римских авторов, как философ Лукреций, поэт Вергилий или натуралист Колумелла, уже содержатся элементы экологических принципов. Зачатки этих принципов можно обнаружить у всех древних цивилизаций, и, возможно, чаще на Востоке, чем на Западе.

Взгляды на природу древнегреческих ученых в значительной мере повлияли на становление экологического мышления биологов современной эпохи. Так, к примеру, Аристотель (384–322 гг. до н. э.), не будучи экологом в современном понимании, придавал предложенной им классификации животных экологическую окраску. Ученик Аристотеля Теофраст описал естественные группировки растений и типы деревьев, произрастающих на разной высоте. Ему принадлежат зрелые высказывания экологической направленности.

Древнегреческие мыслители передали эстафету пришедшим им на смену римским ученым, таким как создатель знаменитой

«Естественной истории» Плиний Старший, а те перекинули мостик к мыслителям эпохи Возрождения.

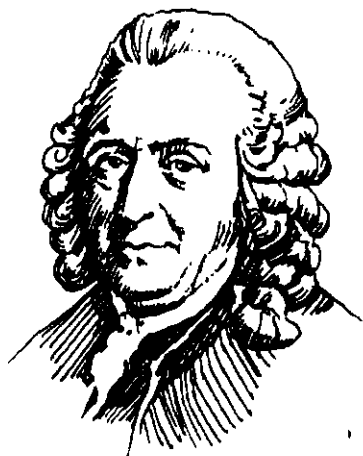
Постепенно человечество начало открывать для себя все новые перспективы в освоении природы. Нужно было разобраться во всем многообразии флоры и фауны, оценить возможное хозяйственное значение открытых учеными экзотических видов. Английский биолог Джон Рей в 1670 г. предложил первую естественную систему растений, ввел представление об однодольных и двудольных растениях и впервые использовал категории вида и рода в смысле, близком к современному.

В том же 1670 г. известный химик Роберт Бойль впервые осуществил экологический эксперимент: он опубликовал результаты сравнительного изучения влияния низкого атмосферного давления на различных животных.

Голландец Антони ван Левенгук (1632–1723), известный всему человечеству как изобретатель микроскопа, в то же время был пионером в изучении «пищевых цепей» и регулирования численности популяций.

В 1749 г. шведский натуралист (или, как мы сейчас говорим, естествоиспытатель) Карл Линней опубликовал диссертацию «Экономия природы». В ней он изложил свои взгляды на взаимоотношения живых организмов и влияния на их жизнь условий внешней среды. Заслуга Линнея прежде всего в том, что он впервые последовательно применил бинарную (двойную) номенклатуру, т. е. обозначил для каждого вида растений, животных и микроорганизмов двойное латинское название: первое означало название рода, второе – видовую принадлежность. Одновременно Линней построил наиболее удачную искусственную классификацию растений и животных. За 120 лет до появления теории Дарвина великий швед поставил человека первым в классе млекопитающих вместе с обезьянами и полуобезьянами. В системе Линнея человек получил свое научное имя *Homo sapiens* – человек разумный.

«Экономия природы» Линнея оказала в свое время заметное влияние на Чарлза Дарвина, который косвенно почерпнул из нее понятие о равновесии в природе и о борьбе за существование. В додарвиновский период развития биологии были созданы основы научной систематики, в качестве самостоятельных наук возникли морфология (наука о строении организмов) и физиология (наука о жизнедеятельности организмов). И хотя в это время при описании флоры и фауны большое внимание уделялось установлению



Карл Линней  
(1707–1778)



Александр Фридрих Генрих  
фон Гумбольдт  
(1769–1859)

связей между организмами и окружающей средой, экология как самостоятельная наука начала складываться только к концу XIX в. Именно тогда началось победное шествие теории происхождения видов путем естественного отбора Чарлза Дарвина.

Большое влияние на формирование экологических взглядов имел капитальный труд Жана Батиста Ламарка «Философия зоологии» (1809 г.), в котором он затронул проблему воздействия внешних условий на «действия и привычки» животных.

Развитию экологических взглядов биологов XIX в. способствовали труды немецкого путешественника и географа Александра Гумбольдта, заложившего основы ботанической географии, в том числе ее экологического направления. Гумбольдт обосновал идею горизонтальной зональности и вертикальной поясности растительности, установил физиономические типы растений.

И все же на заре развития экология представляла собой описательное изучение природы, своего рода естественную историю. Ботаники и зоологи открывали новые виды и описывали их, путешественники проникали в не доступные ранее места, оставляя потомкам свидетельства увиденного. Великие исследователи и естествоиспытатели XIX в. оставили нам полные лиризма описания и наблюдения природных явлений. Достаточно назвать с интересом читаемый и сегодня многотомный труд Альфреда Брема

«Жизнь животных», первый том которого появился в 1863 г. Французский энтомолог Жан Анри Фарб в 1870 г. издал свою работу «Записки энтомолога», которая до сих пор поражает читателя точностью наблюдений за удивительным миром насекомых.

У истоков экологии стояли и русские ученые. Один из них — профессор Московского университета Карл Рулье. Будучи крупным биологом, зоологом, он сформулировал принцип, лежащий в основе всех наук о живом, — принцип исторического единства организма и окружающей среды. Рулье подчеркивал, что ни один из организмов не может существовать независимо от окружающей среды, причем среда изменяется организмами, а изменения организмов контролируются средой. Рулье так писал о всеобщей связи в природе: «Научный путь есть опытное исследование предмета или явления в его последовательном развитии не как уединенного, оторванного, но как необходимо связанного с другими относительно внешними явлениями». Эта мысль, высказанная полтора столетия назад, созвучна рассуждениям и взглядам современных экологов, когда они говорят о целостном подходе к взаимоотношениям человека и природы, об экологическом мышлении.

Если Геккеля можно считать в какой-то мере праотцом новой науки, интуитивно предвосхитившим всю значимость и глобальность экологии, то Дарвин заложил ее биологический фундамент — то основание, на котором в дальнейшем росло экологическое знание. Вначале оно имело практической целью регулирование численности экономически важных видов животных и направленное изменение естественных сообществ (биоценозов) в выгодном для человека направлении.

В начале 20-х годов нашего века термин «экология» чаще всего отождествляли с «научной естественной историей». Под такой естественной историей обычно понимали регистрацию наблюдений о встречаемости организмов и некоторые весьма условные попытки связать эти данные с факторами среды. Во множестве публиковались ценные наблюдения, характеризующие образ жизни различных организмов и отдельных видов, в которых не было даже намека на попытку связать их с проблематикой динамики популяций.

Вскоре пришло время более детального исследования окружающей среды, в которой обитают те или иные виды. Возник новый раздел экологии — аутоэкология (см. с. 15), изучающая взаимоотношения организма (особи, вида) с окружающей его средой.

Аутоэкология имела и по сей день имеет большое прикладное значение, особенно в области биологических методов борьбы с вредителями растений, исследований переносчиков болезней и профилактики переносимых паразитами инфекций.

Однако каждый отдельный вид даже при изучении его с другими видами, оказывающими на него непосредственное влияние, является всего-навсего мельчайшей частичкой среди тысяч таких же видов растений, животных и микроорганизмов, которые обитают в той же зоне – в лесу, на лугу, в водоеме или на побережье. Осознание этого факта привело к появлению в середине 20-х годов синэкологии (от греч. приставки «син-», означающей «вместе»), или биоценологии, исследующей взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой. Термин «синэкология» был предложен швейцарским ботаником Шретером в 1902 г. На III Международном ботаническом конгрессе в Брюсселе в 1910 г. ботаники наряду с другими вопросами обсуждали программу экологических исследований. Был поставлен вопрос о разделении экологии на два раздела: экологию особей и экологию сообществ; синэкология официально оформилась в качестве составной части экологии.

Важным шагом на пути экологии к описанию целостных природных комплексов стало введение немецким гидробиологом Карлом Мёбиусом (1825–1908) в 1877 г. понятия о биоценозе. Он сформулировал эту мысль в книге «Устрицы и устричное хозяйство», где описал комплексы донных животных, образующих так называемые устричные банки. Такие комплексы Мёбиус назвал биоценозами, имея в виду объединения живых организмов, которые соответствуют по составу, числу видов и особей некоторым средним условиям среды и в которых организмы связаны взаимной зависимостью и сохраняются благодаря постоянному размножению в определенных местах.

Заслуга Мёбиуса в том, что он не только установил наличие органических сообществ и предложил для них название «биоценоз», но и сумел раскрыть многие закономерности их формирования и развития. Тем самым были заложены основы важного направления в экологии – *биоценологии*.

Термин «биоценоз» получил распространение в научной литературе на немецком и русском языках, а в англоязычных странах этому понятию соответствует термин «сообщество» (*community*). В русской литературе термин «биоценоз» широко использовали такие классики науки, как В. В. Докучаев,

Г. Ф. Морозов, В. Н. Сукачев. Последний наряду с термином «биоценоз», обозначающим сообщество, предложил термин «биогеоценоз», который соответствует термину «экосистема» в англоязычной литературе.

Таким образом, К. Мёбиус одним из первых применил к исследованию объектов живой природы особый подход, который получил в наши дни название системного подхода. Этот подход ориентирует исследователя на раскрытие целостных свойств объектов и механизмов, их обеспечивающих, на выявление многообразных связей в биологической системе и разработку эффективной стратегии ее изучения. Следует отметить, что в современной науке системная парадигма (господствующая теоретическая концепция, система взглядов) доминирует, а в экологии системный подход к рассмотрению объектов живой природы является основным.

Однако окончательно предпосылки для утверждения системной концепции созрели в ходе интенсивного развития экспериментальной и теоретической экологии в 20–30-е годы XX в. Были сформулированы основные задачи изучения популяций и сообществ, предложены математические модели роста численности популяций и их взаимодействий, проведены лабораторные опыты по проверке этих моделей. Были установлены математические законы, описывающие динамику популяций взаимодействующих групп особей. Это модельные уравнения А. Лотки, В. Вольтерра, принцип (закон) конкурентного исключения Гаузе.

Появились такие основополагающие концепции, как «пирамида чисел» (в соответствии с этой концепцией численность особей снижается в прогрессии от растений – в основе пирамиды до травоядных животных – на ее вершине), «цепь питания», «пирамида биомасс».

В 1948 г. швейцарский химик Пауль Мюллер получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие инсектицидных особенностей ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) – чудесного препарата по борьбе с малярией и голодом. Во время второй мировой войны возникла большая потребность в инсектицидах – веществах, убивающих вредных насекомых. Быстро прогрессировало развитие таких болезней, как малярия и сыпной тиф, в связи с тем, что против этих заболеваний не существует вакцин. Исследования показали, что распространение малярии и сыпного тифа может быть приостановлено, если удастся ограничить распространение комаров и вшей, которые являются пере-

носчиками этих заболеваний. Новый инсектицид ДДТ казался идеальным для этой цели. Его токсичность для людей представлялась настолько низкой, что препарат предполагалось распылять непосредственно на тело для предупреждения возникновения сыпного тифа. Он также был достаточно недорогим, что позволяло использовать ДДТ для распыления на целые острова в Тихом океане перед высадкой вооруженных сил США на берег, предотвращая таким образом заражение малярией.

В первые годы после войны ДДТ применяли на полях кормовых и продовольственных культур, так как он считался совершенно безвредным для теплокровных животных. На протяжении последующих двух десятилетий не имеющая себе равных ценность ДДТ подтверждалась снова и снова, особенно в тропических странах. Кроме предотвращения возникновения малярии, препарат помогал резко увеличить урожайность новых видов сельскохозяйственных культур.

Лишь позже были обнаружены неблагоприятные действия ДДТ. Оказалось, что корм для коров, обработанный ДДТ, опасен не столько для поедающих его животных, сколько для телят, так как, поступая через молоко, он вызывает у них серьезные заболевания, вплоть до смертельного исхода. Одна из особенностей этого средства, сделавшего его вначале столь привлекательным, — стабильность по сравнению с естественными растительными инсектицидами. Не распадаясь постепенно на безвредные компоненты, ДДТ накапливается в почве, воде и организме животных. Особенно много побочных продуктов ДДТ накапливается в организме человека, употребляющего в пищу мясо птиц, молоко и сыр.

Совсем недавно ученые, исследуя жизнь пингвинов в Антарктиде, обнаружили в их печени и жировых тканях побочные продукты ДДТ. Казалось бы, совершенно невероятно, что в таких отдаленных от цивилизации местах можно столкнуться с последствиями дел человеческих. Но факт остается фактом. Ничто живое на Земле не застраховано от вредного воздействия техногенных препаратов. По цепям питания, или трофическим цепям, ДДТ из сточных вод попадает в реки, оттуда в моря и дальше в океаны, достигая самых отдаленных уголков нашей планеты. Установлено, что вне зависимости от места применения конечным пунктом накопления пестицидов и их продуктов считаются моря и океаны.

Следует добавить, что ДДТ является инсектицидом широкого спектра действия и, помимо вредителей, убивает и полезных на-



секомах, например пчел. В 1972 г. в США его повсеместное использование было запрещено. В начале 70-х годов, когда была выявлена и подтверждена опасность ДДТ, во многих странах частично или полностью запретили его применение, и все же его еще можно приобрести в странах «третьего» мира. Нормы допустимого содержания ДДТ – 7 мг/кг в овощах и 0,05 мг/кг в молоке.

Постепенно, к середине XX в. в экологии определились две важные тенденции: одна из них положительная – в самых разных направлениях экология наконец-то стала применять строго научный подход. Между тем одновременно сложилась тенденция, когда экология начала все более распылять свои усилия по слишком многим направлениям. Прежде всего это было связано с бурным развитием молодых наук, отпочковавшихся от классических химических, физических, биологических и др.

На этом этапе развития экологии остро почувствовалась нехватка базовой единицы изучения. У других оформившихся наук такая единица присутствовала. В физике это был атом, в гистологии – ткань, в физиологии – орган, в цитологии – клетка. Отсутствие четко определяемой единицы изучения несколько тормозило развитие экологии.

Такой единицей изучения стала экологическая система, или экосистема. Ее можно определить как ограниченное во времени и пространстве единство, включающее не только все обитающие в нем организмы, но и физические характеристики климата и почв, а также все взаимодействия между различными организмами и между этими организмами и физическими условиями.

Примером экосистемы может служить тропический лес в определенном месте и в конкретный момент времени, населенный тысячами видов растений, животных и микробов, живущих вместе, и связанными миллионами происходящих между ними взаимодействий.

Термин «экосистема» впервые был предложен английским экологом Артуром Тенсли в 1935 г., но, конечно, представления о ней возникли значительно раньше.

Концепция экосистемы согласуется с общей теорией систем Людвиг фон Берталанфи, согласно которой целое представляет собой нечто большее, чем сумма составляющих его элементов, поскольку главная характеристика целого – взаимодействие, протекающее между его различными элементами.

В течение 50-х и первой половины 60-х годов нашего столетия применение этой концепции привело к изучению эффектив-

ности накопления энергии в экосистеме в процессе фотосинтеза, эффективности преобразования материи при переходе от одного звена цепи к другому и переработки и восстановления питательных веществ в почвенном компоненте.

В 70-х годах было установлено, что наиболее критической областью исследований являются зоны, находящиеся на стыке различных экосистем. Экология становится все более сложной, концентрируя внимание на изучении граничных зон. Появилась концепция экотопов, установлено правило граничного эффекта. В науке о растительности утвердилась континуальная парадигма, согласно которой растительный покров обладает свойством непрерывности, т. е. представляет собой континуум – непрерывную мозаику популяционных распределений, связанных условиями среды. Согласно концепции континуума растительный покров рассматривается не как слагающийся из ясно отграниченных друг от друга на местности локальных единиц – фитоценозов, а как непрерывно меняющееся в пространстве сочетание популяций. Разные виды, произрастая совместно, формируют не четко отличающиеся друг от друга на местности сообщества, а плавно переходящие друг в друга, многообразно и неповторимо меняющиеся сочетания. Впервые идею континуальности растительности выдвинули в 20-е годы нашего столетия советский геоботаник Л. Г. Раменский, итальянский геоботаник Негри и американец Глизон.

Огромное влияние на развитие экологии оказали работы выдающегося русского геохимика В. И. Вернадского. Он посвятил себя изучению процессов, протекающих в биосфере, и разработал теорию, названную им биогеохимией, которая легла в основу современного учения о биосфере.

Еще в начале XIX в. в естествознании утвердился термин биосфера – сфера жизни. Она включает в себя все области нашей планеты, освоенные жизнью. Это и атмосфера, и океан, и все части земной поверхности, где утвердилась жизнь в любых ее формах.

Учение о живой природе было создано и развито многими выдающимися натуралистами прошлых веков. Но тогда исследовался главным образом растительный и животный мир, а биосфера – как качественно новое геологическое, биологическое и экологическое явление на планете – не рассматривалась. Однако изучения одних локальных проблем оказалось недостаточно. В современных условиях необходимо изучать биосферу как единое целое в ее взаимодействии с человечеством.

Появление и развитие учения о биосфере стало новой вехой в естествознании, в изучении взаимодействия и взаимоотношений между косной и живой природой, между человеком и окружающей средой.

В 1926 году В. И. Вернадский опубликовал книгу под названием «Биосфера», которая ознаменовала рождение новой науки о природе, о взаимосвязи с ней человека. В этой книге биосфера впервые показана как единая динамическая система, населенная и управляемая жизнью, живым веществом планеты. В работах по биосфере ученый показал, что живое вещество во взаимодействии с косным есть часть большого механизма земной коры, благодаря которому происходят разнообразные геохимические и биогенные процессы, миграции атомов, осуществляется их участие в геологических и биологических циклах.

В. И. Вернадский показал, что химическое состояние наружной коры нашей планеты всецело находится под влиянием жизни и определяется живыми организмами, с деятельностью которых связан великий планетарный процесс — миграция химических элементов в биосфере. Эволюция видов, отмечал ученый, приводящая к созданию форм жизни, устойчива в биосфере и должна идти в направлении увеличения биогенной миграции атомов. В его учении о биосфере не только рассматривались основные свойства живого вещества и влияние на него косной природы, но впервые было раскрыто грандиозное обратное влияние жизни на абиотическую (неживую) среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) и формирование в результате этого исторического процесса особых биокосных природных тел, таких как почва.

Впервые вся живая оболочка планеты предстала как единое целое — могучее, сложное и в то же время хрупкое образование. Из учения В. И. Вернадского вытекала необходимость комплексного изучения живых, косных и биологических компонентов биосферы в их динамическом единстве.

Изучение экосистемы в целом требовало более сложных исследовательских средств, которые могли быть обеспечены лишь с развитием возможностей вычислительной техники и обработки информации, что позволило создавать модели сложных систем.

Для решения сложных экологических проблем ученые-экологи моделируют отдельные явления, на основе которых могут быть сделаны прогнозы, доступные для проверки. Если прогноз не сбывается, модель либо исправляют, либо отбрасывают. Те модели и теории, которые недостаточно хорошо совпадают с

действительностью, постепенно заменяют другими моделями, лучше отражающими реальный мир. Чрезвычайная сложность экологических систем требует применения графических и математических моделей в такой мере, что современные экологи подчас используют математику в своей работе не меньше, чем биологию.

Взаимосвязи в живой природе, с которыми приходится сталкиваться ученым, чрезвычайно широки и многообразны. Поэтому идеальный эколог, если только таковой существует, должен быть чуть ли не энциклопедистом, обладающим комплексом знаний, концентрированных во многих научных и общественных дисциплинах. Естественно, таких людей нет, и поэтому для успешного решения реальных экологических задач необходима совместная междисциплинарная работа исследовательских групп, каждая из которых представляет различные отрасли науки.

Необходимость таких комплексных исследований привела к разработке и осуществлению в 1964–1974 годах Международной биологической программы (МБП), направленной на долгосрочное глобальное изучение биологической продуктивности наземных, пресноводных и морских растительных и животных сообществ. За время реализации программы был собран огромный фактический материал по биологической продуктивности различных сообществ на всех трофических уровнях. Одновременно проводились исследования генетического разнообразия растений, возделываемых в настоящее время человеком, и их диких сородичей. Результаты исследований по МБП были опубликованы в трехтомной монографии «Ресурсы биосферы» (1975–1976).

Специально для МБП разработаны методологии, которые были приняты практически во всем мире. Однако вскоре при реализации МБП выявились определенные трудности. Прежде всего они касались сложности и высокой стоимости исследований. Кроме того, значительный, если не главный, упор делался на сбор данных. Информации собрано столько, что неизвестно, будет ли она вообще когда-либо обработана. И главное, не было предусмотрено программы параллельной подготовки специалистов. На многие вопросы так и не получено ответа, поскольку непонятно было, как интерпретировать результаты исследований конкретных участков на экосистемы того же типа в других частях света.

В процессе реализации работ по МБП становилось ясно, что изучение взаимодействий между экосистемами столь же важно, как и изучение процессов, протекающих внутри экосистем.

Разработка МБП пришлась на то время, когда перед человечеством впервые остро стала проблема кризиса окружающей среды. Появилось новое осознание ограниченности природных ресурсов и опасностей, угрожающей всей планете в целом.

В этой атмосфере экология как наука была неожиданно вытолкнута на арену общественной жизни в качестве политической платформы и средства давления. Образовался своеобразный водораздел между специалистами в области экологии (экологами) и группами политического давления, или движения протеста (экологистами).

В это время в общественном движении Запада возникло новое направление – алармизм (от англ. *alarm* – тревога). Возникли так называемые партии «зеленых», которые на определенном этапе получили довольно мощную поддержку населения. Достаточно вспомнить фракцию «зеленых», получившую в свое время несколько мест в немецком парламенте.

Призывы «зеленых» были подчас истеричны. Они требовали полностью пересмотреть взгляды на промышленное, а значит, прогрессивное развитие человечества. Выступления их состояли из категоричных лозунгов отказа: «Не трогать реку, прекратить стройку на ее берегах», «Не рубить лес», «Не убивать пушных зверей», «Не строить химический завод», «Закрыть атомную электростанцию».

Справедливости ради следует сказать, что «зеленые» сделали немало для защиты окружающей среды. Движениям экологистов иногда удавалось прямо или косвенно убедить правительства в необходимости больше учитывать экологические аспекты развития. Социальная ответственность ученого-эколога в этой связи возрастала и можно только приветствовать тенденцию рассматривать экологию как «науку для каждого и на каждый день».

Однако новые времена продиктовали и новые экологические лозунги. Теперь в экологическом лексиконе главным стало не слово «страшно», а слово «трудно». Прагматически настроенные серьезные люди на Западе поняли, что безудержному экологическому романтизму пришел конец, поскольку для дальнейшего повышения уровня жизни необходимо неуклонное развитие промышленности и техники. Поэтому «неозеленым» пришлось сменить лозунг «Назад – к природе» на другой: «Вперед – к природе!». Вперед – через развитие науки и техники, дающее новые способы экологически чистого производства и новые способы получения экологически чистых продуктов. Началось создание

замкнутых циклов производства и эффективных систем очистки. Лозунги типа «Закрыть завод лекарственных препаратов, загрязняющий среду» стали архаичными. Не нужно закрывать заводы, прекращать строительство – нужно создавать надежный контроль, эффективные фильтры и очистные сооружения, взимать ощутимые платежи за сбросы.

Современный этап развития экологической науки характеризуется признанием того, что проблемы окружающей среды затрагивают все страны мира. Примером может служить печально известный факт аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Хотя Беларусь и Украина пострадали больше всех, но в определенной мере катастрофа затронула интересы ряда северных стран и наших западных соседей. Определелись приоритетные проблемы глобального характера, такие как изменения в озоновом слое атмосферы, повышенное накопление углекислого газа, загрязнение океана, которые не имеют политических границ и решение которых возможно только при объединении усилий ученых многих стран.

В современных условиях ученые-экологи вновь обратились к научному наследию В. И. Вернадского. Именно он указывал еще в далекие 20-е годы о мощном воздействии человека на окружающую среду и преобразовании современной биосферы. Для уже измененной биосферы, всецело находящейся под контролем разума человека, он предложил термин «*ноосфера*» – сфера разума. Ученый подчеркивал, что центральным звеном в биосфере, играющим доминирующую преобразующую роль, является человек. Поэтому повышение его ответственности за эволюцию биосферы должно быть самой неотложной из стоящих перед человечеством задач.

В этом историческом контексте в рамках новых концептуальных задач в ноябре 1971 г. было начато проведение новой международной межправительственной программы «Человек и биосфера» («Man and Biosphere») – МАБ. В ее задачу входили организация и осуществление в разных районах мира комплексных фундаментальных научных исследований воздействия человека на естественные процессы в биосфере, а также изучение влияния происходящих изменений на самого человека.

По сути программа МАБ стала новым интегрированным подходом к исследованиям, подготовке специалистов и деятельности, цель которой – улучшение взаимоотношения человека с окружающей средой. Отправным пунктом программы было иссле-

дование человека «со стороны», т. е. изучение воздействия его деятельности на различные экосистемы (леса тропиков и умеренной зоны, саванны, прерии, тундры, реки, озера, горы и острова). Постепенно человек в исследованиях МАБ стал рассматриваться как органическая составная часть экосистемы и биосферы и оказался фактически центральным элементом исследований.

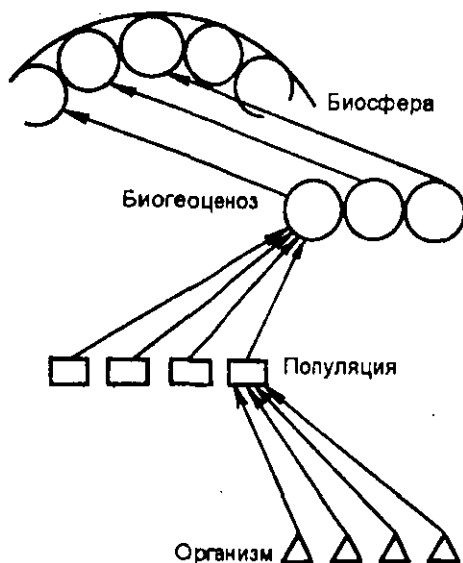
Такая постановка вопроса, при которой человек из стороннего и чужеродного элемента превращается в органичное составляющее биосферы, его ядро, означает переворот в концепциях и методах современной экологии, поскольку последняя начала принимать во внимание не поддающиеся количественной оценке элементы деятельности и образ мышления человека. Ключевым элементом стала концепция «участия», подразумевающая участие человека, группы людей, местного населения в экологическом планировании.

Итак, мы проследили исторические этапы развития экологии: описательную естественную историю, изучение отдельных видов, сообществ и экосистем, биосферы, и, наконец, человека в биосфере. Последний этап наиболее органичен и естественен для человека, поскольку он замыкает эволюционный цикл и восстанавливает природную роль и значение человека, а именно его органическую неразрывную связь с биосферой.

## **УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОГО: ДВА ПОДХОДА В ЭКОЛОГИИ**

Возникновение жизни на Земле связано с биологическим круговоротом веществ в пределах границ, определяемых областью распространения жизни, т. е. биосферой. Такой круговорот осуществляется посредством взаимодействия огромного множества различных живых организмов, которые относятся к тому или иному виду растений, животных или микроорганизмов. Элементарной единицей в круговороте веществ и основной формой организации материи является вид. Эволюция видов – основной вопрос эволюционной теории.

Живые организмы, населяющие Землю, не разбросаны хаотично по ее поверхности, а организованы в определенные развивающиеся группы. Такие группы, начиная с отдельных индивидов, составляют уровни организации живого, или структурные уровни. Жизнь предстает перед нами как сложная иерархическая система, в которой элементы низшего уровня организации служат составными частями для структур более высокого уровня.



*Рис. 2.* Соотношение биологических систем разного уровня в составе биосферы (В. Е. Соколов, И. А. Шилов, 1989). На уровне организма осуществляется обмен веществ с окружающей средой, на уровне популяции обеспечивается устойчивое воспроизведение вида и его участие в биогенном круговороте, на уровне биогеоценоза поддерживается устойчивый круговорот веществ, на уровне биосферы – глобальный круговорот

В настоящее время имеется множество схем, отражающих иерархическую соподчиненность уровней живого (рис. 2). Еще сравнительно недавно высшим уровнем организации живого считался организменный уровень, рассматривающий организм как наиболее целостный и самостоятельный элемент организации живого. Прогресс биологических наук заставил пересмотреть эту точку зрения. Успехи молекулярной биологии, с одной стороны, и экологии – с другой, способствовали выявлению более сложной иерархии уровней. Вопрос об уровнях организации живых систем в настоящее время до конца еще не решен, поскольку разные авторы называют неодинаковое число уровней.

Чаще всего выделяют до девяти уровней организации живого: молекулярный, органоидный, клеточный, тканевый, органнй, организменный, популяционный, биоценотический и биосферный. При более тщательном рассмотрении предложенного ряда усложнения форм организации живого нетрудно заметить, что



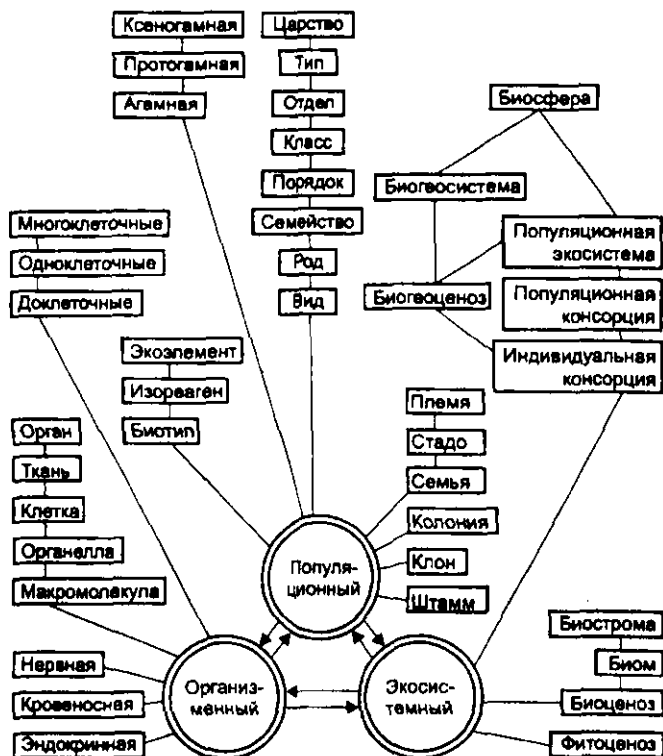


Рис. 3. Схема структурно-функциональных связей живого (Голубец, 1982)

все эти уровни (ступени) по существу можно свести к трем основным: клеточному, организменному и надорганизменному. Объекты первого уровня изучает молекулярная биология (биохимия, цитология, молекулярная генетика, цитогенетика). Объекты второго уровня организации – это предметы классических наук – морфологии, анатомии, физиологии, эмбриологии. И, наконец, объекты третьего уровня изучают такие биологические науки, как систематика, таксономия, фаунистика, флористика, ценология.

Не все трактуют систему форм организации живого единообразно. К. М. Завадский, например, отмечает четыре формы организации живого: организменный, популяционно-видовой, биоценотический и биосферный. Н. П. Наумов рассматривает три

уровня организации органического мира: видовой (популяционный), ассоциации видов (сообщества) и биосферу в целом.

М. А. Голубец все разнообразие живых систем сводит к трем уровням: организменному, популяционному и экосистемному, что фактически очень напоминает схему К. М. Завадского; различие только в объединении последним биоценотического и биосферного уровней в один – экосистемный. Обоснованность выделения этих трех уровней (рис. 3) подтверждается тем, что в системах организменного, популяционного и экосистемного уровней организации происходят все биохимические, физиологические, биогеоценотические, биофизические и биогеохимические процессы, обеспечивающие существование и эволюцию биосферы.

В современной экологии среди множества подходов к решению тех или иных задач выделяются два: экосистемный и популяционный. Они дополняют друг друга и в совокупности охватывают всю экологию.

При *экосистемном подходе* объектом исследования является комплекс живых организмов, которые находятся в тесной взаимосвязи между собой и в совокупности с неживыми факторами среды. Эти совокупности – экосистемы – определяются главным образом круговоротом основных биогенных элементов, рассматриваемых в определенном пространственно-временном масштабе. Их границы условны, а размерность (величина) различна. Это может быть и лужа воды, и озеро, и лесной массив, и участок океана, и вся Земля в целом.

Если при экосистемном подходе живые системы рассматриваются с точки зрения их строения, такое направление называется *структурным*. Если же изучению подвергаются различные процессы, касающиеся жизнедеятельности экосистем (энергетический обмен, взаимодействия между видами, слагающими экосистему, потоки веществ и т. п.), то такое направление носит название *функционального*.

При *популяционном подходе* рассматривается совокупность особей одного вида, обитающих на определенной территории как особые структурно-функциональные единицы, – популяции. Основные вопросы, которые изучает эколог-популяционист, это выявление факторов, которые ограничивают распространение тех или иных популяций, соотношение разных возрастных групп и половые различия между особями, составляющими данную популяцию.

## ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

Наиболее важной и актуальной проблемой современной экологии, вероятно, необходимо признать определение роли и места человека в глобальных биосферных процессах. Перед человечеством на сегодняшний день стоит одна главная задача – предотвращение экологической катастрофы. Экологические проблемы в настоящее время стали приоритетными для политиков и политического устройства всего мира. Совсем недавно сопоставимой проблемой являлась проблема предотвращения ядерной войны, хотя теоретически такая опасность существует и поныне.

Что касается задач современной экологии, то и здесь нет единогообразного подхода. Одни ученые считают главной задачей экологии изучение динамики популяций и ее причин, причем изучение среды не представляет самостоятельного экологического интереса. Другие полагают, что основная задача экологии – изучение популяций и (главное) динамики их численности.

На наш взгляд, задачи современной экологии должны определяться исходя из самой структуры этой науки, и одной из таких задач является изучение регуляторных процессов в биосфере.

**Общэкологические задачи** должны осуществляться на конкретно-научном уровне.

Изучая взаимосвязи живого с окружающей абиотической средой, экология решает разные задачи на каждом системном уровне организации жизни.

*На организменном уровне* рассматриваются проблемы адаптации организмов, механизмы, обеспечивающие устойчивость их функционирования.

*На популяционном уровне* – это исследование форм взаимоотношений между организмами, обеспечивающих существование популяции как целостной саморегулирующейся системы. Основное здесь – определение тех свойств популяции, которые обеспечивают возможность ее неограниченно длительного существования в постоянно изменяющихся условиях среды. Главная цель – сбережение целостной ткани живого вещества. Не изучение взаимосвязи отдельного организма со средой, а изучение взаимосвязей и приспособительных реакций популяций с условиями их существования должно стать основной задачей экологии. Следует отметить, что популяционный уровень наиболее важен из-за возможности управления популяциями со стороны человека. Воздействие на отдельный организм никакого эффекта не дает, поскольку он смертен и его отдельно взятые индивидуальные

свойства во взаимоотношениях между особями и средой в целом ничего не изменят. Но если воздействию подвергается вся популяция, то в случае ее гибели возможно ограничение (или уничтожение) какого-то природного ресурса, важного для человека.

*На экосистемном (биогеоценотическом) уровне* основной задачей является исследование закономерностей функционирования и продукционных процессов многовидовых биоценозов вместе с их неорганическим окружением.

*На биосферном (глобальном) уровне* выявляются причины и механизмы изменения элементов биосферы в результате воздействия человеческой деятельности. Двойное положение человека в биосфере (с одной стороны, это гетеротрофный живой организм, а с другой – высокоразвитое живое существо, наделенное разумом и вооруженное достижениями научно-технической революции) диктует необходимость предельной осторожности и взвешенности решений при любой его попытке вмешательства в исторически сложившиеся взаимосвязи и процессы живой природы.

**Проблемы и задачи частной экологии** предполагают решение вопросов сохранения физико-химических балансов в биосфере. Осуществление этих задач возможно на нескольких уровнях: технологическом, экономическом, юридическом и иных.

К основным проблемам следует отнести:

- изменение климата Земли, парниковый эффект (антропогенное потепление), разрушение озонового экрана;
- загрязнение атмосферы, кислотные осадки;
- демографический взрыв, относительное перенаселение Земли в некоторых регионах; чрезмерную урбанизацию.
- загрязнение почв, уменьшение их площадей;
- загрязнение океана и поверхностных вод суши;
- радиоактивное загрязнение локальных участков;
- опустынивание, уменьшение площадей тропических и северных лесов.

В настоящее время большинство международных экологических конфликтов условно можно разделить на четыре категории: распределение водных ресурсов, загрязнение морей, чистота воздуха, чистота воды.

Современная экология является научной базой рационального использования и воспроизводства природных ресурсов, охраны окружающей среды. Последовательное решение насущных экологических проблем должно привести к снижению негативного воздействия общества на отдельные экосистемы и природу в целом, включая человека.

## Глава 2

# **СРЕДА ОБИТАНИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ. АДАПТАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ К СРЕДЕ ОБИТАНИЯ**

Мы часто противопоставляем живое неживому: биологическое – физическому или химическому, одушевленное – неодушевленному, органическое – неорганическому, активное – пассивному, биотическое – абиотическому. Однако, несмотря на то что живую природу почти всегда легко отличить и отделить от неживой, они не существуют раздельно, независимо. Совершенно очевидно, что жизнь без физической среды невозможна. Влияние, оказываемое живыми существами на физическую среду, не столь явно, однако оно имеет не менее важное значение для сохранения жизни на Земле. Свойства почвы, атмосферы, озер и океанов, а также разнообразных осадков, превратившихся в породу под действием геологических факторов, частично обусловлены жизнедеятельностью человека и животных.

Благоприятные или неблагоприятные природные факторы (климат, пища, враги, конкуренты) образуют среду, к которой должна приспособиться не только единичная особь в ее борьбе за жизнь, но и вид в целом. Приспособленность вида к какой-либо постоянной среде является предпосылкой его длительного стабильного существования. С позиции экологии можно считать, что многообразие организмов, их изменчивость и сохранение в природе, их становление и существование являются результатом воздействия окружающей среды и адаптации.

## **ПОНЯТИЕ О СРЕДЕ ОБИТАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ**

Жизнь полностью зависит от физической среды: во-первых, организмы получают пищу из этой среды, во-вторых, распространение растений и животных ограничивается их выносливо-

стью к физическим условиям. Жаркий и сухой климат пустыни препятствует жизни в ней большинства организмов, точно так же как из-за жестокого холода в полярных областях обитать в них могут лишь очень немногие, наиболее выносливые виды.

Жизнедеятельность организмов в свою очередь оказывает влияние на физическую среду, и нередко это влияние очень существенно. Кислород, который мы, не задумываясь, потребляем при каждом вдохе, выделяется главным образом зелеными растениями в процессе фотосинтеза. До того как в первичном океане появились зеленые растения, атмосфера Земли состояла в основном из метана, аммиака, водяных паров и водорода. Первые водные растения, используя солнечный свет в качестве источника энергии, начали выделять кислород, часть которого освобождалась из океана и накапливалась в атмосфере.

Не менее важное значение оказывают растения на свойства почвы. Их корни проникают в трещинки, даже самые маленькие, и способствуют измельчению породы. Бактерии и грибы ускоряют выветривание горной породы. Гниющие растительные остатки выделяют кислоты, которые также вызывают химическое выветривание. Животные участвуют в процессе почвообразования, прорывая в земле норы и ходы, вытаптывая ее, а также внося в нее свои экскременты.

Взаимозависимость физического и биологического миров лежит в основе концепции экосистемы. В экосистему входит не только комплекс организмов, но и вся общность физических факторов, образующих то, что мы называем средой биома, — факторы местообитания в самом широком смысле слова. Хотя главным интересующим нас объектом обычно являются организмы, однако, пытаясь проникнуть в самую сущность вещей, мы не можем отделить организмы от их особой среды, в сочетании с которой они образуют некую физическую систему.

Среда, то есть пространство, в котором протекает жизнедеятельность живых организмов, то, что окружает организм и влияет (прямо или косвенно) на его жизнедеятельность, носит название *среды обитания*. Это природные тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных взаимоотношениях. Если происхождение природных явлений не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов, то мы имеем дело со средой *абиотической*, т. е. неживой. В противном случае, когда силы и явления природы обязаны своим происхождением жизне-

деятельности организмов, среда обитания носит название *биотической* – это живая среда обитания.

Такой комплекс окружающих условий, влияющих на жизнедеятельность организмов, складывается из разнообразных элементов – факторов среды. Под факторами среды понимают экологические факторы, т.е. такие воздействия, на которые живое реагирует приспособительными реакциями.

Так же как и окружающая среда, все многообразие экологических факторов делится на две большие группы. Одна группа включает компоненты и явления неживой природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Такие проявления свойств неживой природы называются *абиотическими факторами*. Среди множества абиотических факторов главную роль играют климатические, эдафические (почвенные), орографические (рельеф), гидрографические (водная среда), химические (табл. 2).

Однако не только окружающая среда влияет на рост и развитие организмов. Сами живые организмы находятся в постоянных взаимоотношениях между собой. Совокупность таких взаимоотношений, взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других, а также и на неживую среду обитания носит название *биотических факторов*. Среди основных биотических факторов можно отметить факторы фитогенные (от греч. «фитон» – растение), зоогенные (от греч. «зоон» – животное) и антропогенные (от греч. «антропос» – человек).

К основным природным биотическим факторам относятся прежде всего хищничество, конкуренция, паразитизм. Введенные в местные природные комплексы виды, не свойственные данной природной среде (интродукция вида), часто становятся столь конкурентно агрессивными, что их распространение принимает характер эпидемии.

Обычно для иллюстрации этого положения ссылаются на примеры из жизни австралийского континента, поскольку природа изолированного материка наиболее подвержена стрессовым явлениям и уязвима при любом вмешательстве извне. Это классические ситуации, являющиеся результатом непродуманного шага человека: кролики, которые чуть было не «съели» всю травянистую растительность Австралии; вспышка распространения кактуса опунции и многое другое. Приведем еще несколько примеров.

Таблица 2. Классификация экологических факторов среды

Абиотические факторы	Биотические факторы
<p><b>Климатические:</b> солнечная радиация, свет и световой режим, температура, влажность, атмосферные осадки, ветер, давление и др.</p> <p><b>Эдафические:</b> механический и химический состав почвы, влагоемкость, водный, воздушный и тепловой режим почвы, структура почвы, уровень грунтовых вод и др.</p> <p><b>Орографические:</b> рельеф, экспозиция, высота над уровнем моря</p> <p><b>Гидрографические:</b> факторы водной среды</p> <p><b>Химические:</b> газовый состав атмосферы, солевой состав воды</p>	<p><b>Фитогенные</b> (влияния растений)</p> <p><b>Зоогенные</b> (влияния животных)</p> <p><b>Антропогенные</b> – прямые (антропогенные) и опосредованные влияния на окружающую среду, связанные с деятельностью человека</p>

Из-за кошек, завезенных в Австралию два столетия назад переселенцами из Европы, страна лишилась по меньшей мере девяти чисто австралийских видов мелких животных и птиц, которые за эти два века были начисто съедены кошками. В Австралии, по последним статистическим данным, насчитывается 18 млн кошек – столько же, сколько людей.

В газетах промелькнуло сообщение, что острову Тайвань угрожает биологическая катастрофа. Ученые-ботаники забили тревогу. Виной всему оказалась неприхотливая декоративная водоросль *Salvinia molesta*, что в переводе с латыни означает «немного раздражающая». Ее привезли из Шри-Ланка, и она быстро приобрела популярность. Вначале ее содержали только в аквариумах, но случайно она попала в местные водоемы. Водоросль обладает способностью размножаться с громадной скоростью, лишая флору и фауну кислорода. Мало того, в водорослях живут очень вредные червячки-паразиты. Попадая вместе с питьевой водой в организм, они вызывают заболевания печени, почек и других органов. Проблема пока не решена.

Еще один аналогичный пример из жизни пятого континента связан с представителем того же рода сальвинии – сальвинией



плавающей – *Salvinia natans* (кстати, этот вид произрастает и у нас, на юге Беларуси). Папоротник этот обычен для водоемов тропических и субтропических стран. В начале 60-х годов любители аквариумных растений завезли его в Австралию из Южной Америки и распространили по всему континенту самым простым способом – выливая воду из аквариумов в канализацию. Сальвиния, не имея серьезных врагов, в короткое время заполонила все штаты, превращая водоемы в зеленое месиво, забивая водосточные каналы и очистные сооружения. После того как сальвиния «обосновалась» в огромном озере возле города Маунт Айса и сделала воду непригодной даже для использования в промышленности, одна из горнодобывающих компаний потратила на борьбу с ней 160 тыс. долларов. Несмотря на применение ядохимикатов, все усилия, а с ними и деньги пропали даром.

Спасение пришло оттуда же, откуда прибыла и сальвиния. Маленький черный жук, обитающий в водоемах Бразилии, сделал то, чего не смог сделать человек. Ученые выпустили в озеро полторы тысячи бразильских жуков. Через год их насчитывалось уже около 6 млн, и вскоре битва закончилась. Естественно, не в пользу растения. Жуки уничтожили более 50 т растений и вернули озеру первоначальный вид. Заодно ученые получили неоспоримое доказательство преимущества биологических методов решения экологических проблем.

Воздействие экологических факторов может быть как прямым, так и опосредованным. Например, влияние температуры, солнечной радиации на живые существа чаще всего рассматривается как прямое воздействие факторов. В то же время в природе немаловажную роль играют факторы, непосредственно не действующие на организмы, но тем не менее оказывающие значительное влияние на их жизнедеятельность. Например, насекомоядные птицы не поедают деревья, но они поедают многих насекомых, которые кормятся листьями или опыляют цветки. Поедая насекомых-опылителей, птицы косвенным образом воздействуют на число производимых деревом плодов, на количестве пищи, доступной животным, которые питаются плодами и проростками, на хищников и паразитов этих животных и т. д.

Следует отметить, что почти все *антропогенные факторы* – это факторы, косвенно обязанные своим происхождением деятельности человека. Факторы же, возникающие в ходе непосредственного воздействия человека на природное окружение, носят название *антропических*.

Действие одних факторов в природе невозможно заменить другими. Так, недостаток света нельзя заменить обилием тепла. Все экологические факторы находятся под постоянным воздействием самих организмов, на которые они влияют. Практически все организмы обитают в среде, в той или иной мере измененной другими организмами. Роль организмов в средообразовании чрезвычайно разнообразна и очень важна. Особенно это касается растений, которые могут в значительной степени трансформировать (изменять) среду обитания.

## АВТОТРОФНЫЕ И ГЕТЕРОТРОФНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Растения синтезируют органические вещества, используя энергию солнечного света и поглощая питательные вещества из почвы и воды. Эти соединения служат растениям материалом, из которого они образуют свои ткани, и источником энергии, необходимой им для поддержания своих функций. Для высвобождения запасенной химической энергии растения разлагают органические соединения на исходные неорганические компоненты — диоксид углерода, воду, нитраты, фосфаты и другие, завершая тем самым круговорот питательных веществ.

В 80-х годах XIX в. немецкий биолог Вильгельм Пфедфер разделил все живые организмы по способу питания. Это деление сохранилось и до нашего времени. Пфедфер исходил из того, что зеленое растение в природе не нуждается в притоке органического вещества извне, а само может создавать его в процессе фотосинтеза. Только исключительно зеленым растениям природой дано искусство создавать органические вещества из воды и воздуха, используя солнечную энергию. Пфедфер назвал их *автотрофами*, что буквально означает «самопитающиеся, самокормящиеся» (от греч. «ауто» — сам и «трофе» — кормиться, питаться). Автотрофные растения не только кормятся сами, но и кормят все остальные живые организмы. Это кормильцы биосферы.

Организмы, которые нуждаются в готовом органическом веществе, образованном другими, Пфедфер назвал *гетеротрофами*, что означает «питающиеся другими» (от греч. «гетер» — другой). К таким организмам относятся все животные, которые извлекают необходимую им энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. Сюда же можно отнести группу бесхлорофильных растений-паразитов, которые, присасываясь к корням

своих собратьев, в буквальном смысле тянут из них соки. В мире растений это наш лесной петров крест и полевая зарази́ха.

Специализация живых форм в качестве производителей и потребителей пищи создает в биологических сообществах определенную энергетическую структуру, называемую *трофической*, в пределах которой происходят перенос энергии и круговороты питательных веществ. Пищевая цепь у сухопутных организмов, идущая от травы через гусеницу, воробья и змею к луню, указывает этапы движения содержащихся в них энергии органических и неорганических питательных веществ. В каждом звене пищевой цепи, на каждом трофическом уровне сообщества большая часть поглощаемой с пищей энергии рассеивается в виде тепла, движения, а у светящихся организмов – в виде света. Ни одна из этих форм энергии не может быть использована другими организмами, следовательно, при переходе к каждому последующему звену пищевой цепи общее количество пригодной для использования энергии, передаваемой на следующий, более высокий трофический уровень, уменьшается. Поэтому неудивительно, что если собрать в кучу всю траву Африки, то она будет огромна по сравнению с кучей, образованной всеми кузнечиками, антилопами, зебрами, носорогами и всеми другими травоядными животными Африки. Что же касается жалкой кучки львов, гепардов и гиен, то мы ее можем просто не заметить рядом с кучами травы и растительноядных животных.

Сходные пищевые цепи присутствуют и в водной среде, например в океане. «На самых высоких уровнях пищевой цепи находятся крупные свободноплавающие хищники: кальмары, рыбы, дельфины, тюлени и киты. Эти выносливые пловцы известны под названием «нектон», и они также опутаны узами иерархии хищников и добычи. Так, питающиеся планктоном рыбы, такие как сельдь, служат пищей тарпонам (из отряда костистых рыб – *Elopiformes*. – Прим. авт.) и тунцам, которые в свою очередь становятся добычей акул. В целом, чем выше ранг вида в пищевой цепи, тем малочисленнее его популяция и ниже его плотность, т.е. передача питательных веществ от жертвы к хищнику происходит малоэффективно. Для того чтобы вырастить фунт зоопланктона, требуется около десяти фунтов фитопланктона, а чтобы получить один фунт сельди – десять фунтов зоопланктона. И такой же коэффициент преобразования сохраняется вплоть до высших звеньев пищевой цепи», – так описывает трофические отношения организмов океана Д. Д. Хейс (1991, с. 42).

## **АБИОТИЧЕСКАЯ СРЕДА, КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДЕ**

Переходим к рассмотрению свойств физической среды. Как известно, жизнь зародилась в океане. В мелких прибрежных водах условия для возникновения первых групп растений и животных были благоприятные: относительное постоянство температуры и солености, обилие солнечного света, растворенных газов и минеральных веществ.

Первые шаги в завоевании суши были трудными, о чем свидетельствуют несколько сот миллионов лет, отделяющих время, когда жизнь стала процветать в море, от ее первого появления на суше. И все же, несмотря на суровость наземной среды, жизнь на суше достигла высокого уровня как по общей массе органического вещества, так и по разнообразию.

Рассмотрим основные элементы биосферы – гидросферу, атмосферу и почву с позиций экологии – как среду и ресурсы, обеспечивающие жизнь на Земле.

**Гидросфера.** Вода входит в состав всех элементов биосферы. Это составная часть не только водоемов, но и воздуха, почвы, живых существ. Она занимает около 70 % поверхности земного шара и является самым распространенным на нашей планете природным соединением. Вода – это источник жизни, без нее невозможно существование ни животных, ни растений, ни человека. На нашей Земле вода заключена в особую сферу, которая называется гидросферой. Эта жидкая оболочка, покрывающая планету, наиболее отличает Землю от соседних с ней планет. Земля уникальна не только тем, что имеет так много воды в жидкой фазе, но и решающей ролью воды в формировании особенных черт планеты. Гидросфера важна для развития жизни не только в химическом смысле, велика также ее роль в поддержании относительно неизменного климата, что позволило жизни воспроизводиться в течение более трех миллиардов лет. Поскольку для жизни необходимо, чтобы преобладающие температуры были в диапазоне от 0° до 100° С, т. е. в пределах, которые позволяют гидросфере оставаться в основном в жидкой фазе, то можно сделать вывод, что температура на Земле на протяжении большей части ее истории отличалась большим постоянством.

Вода – одновременно наш раб и господин. Она способствует формированию климата на Земле, ее могучая сила преобразует планету, уничтожая подчас творение рук человеческих. Поэтому

Землю иногда называют водной планетой. Без воды жизнь невозможна. Тем, кто привык получать воду, только повернув водопроводный кран, иногда трудно себе представить, как ценна вода для тех, кто не имеет возможности пользоваться ею в достаточных количествах. Например, женщинам африканской страны Буркина-Фасо (бывшая Верхняя Вольта) приходится каждый день в течение двух-трех часов бродить по окрестностям в поисках какой-нибудь речушки или застойного водоема, а затем возвращаться домой, неся на голове 20–25 литров драгоценной влаги в глиняных кувшинах. Семьи, живущие на окраинах некоторых городов в развивающихся странах, зачастую тратят 10 % своих доходов на покупку воды для питьевых и бытовых нужд.

Проблема нехватки воды возникла из-за нескольких причин. Прежде всего это увеличение ее расхода для насущных нужд человека. Значительного количества воды требует производство продовольствия. Кроме того, в громадных количествах потребляет жизненно необходимую влагу промышленность. Индустриальные страны, пока еще не знающие недостатка в воде, бездумно разработали технологию промышленного производства современных продуктов. На производство одной тонны бумажной массы в настоящее время расходуется триста тысяч литров воды, одной тонны азотных удобрений – шестьсот литров, а на изготовление тонны пластика – свыше миллиона литров! Мало кто задумывается, какого огромного расхода воды требует наша техническая цивилизация.

Общие запасы воды на Земле в свободном состоянии составляют 1386 млн км<sup>3</sup>. Сама по себе эта цифра ничего не говорит, но если бы этой водой равномерно покрыть земной шар, то ее слой составил бы 3700 м.

Чтобы более наглядно представить себе тот объем воды, которым располагает человечество, приведем следующий пример. Если сравнить нашу планету с таким фруктом, как апельсин, то вся вода в мире – находящаяся во взвешенном состоянии в воздухе, подземные воды, вода морей, океанов, рек, озер – представляла бы на этом апельсине каплю, осторожно нанесенную на его поверхность с помощью пипетки.

И вот что самое интересное: почти вся эта капля (97–98 %) состояла бы из соленой воды морей и океанов. И лишь 2–3 % представляли бы собой пресную воду, необходимую для жизни, – количество столь ничтожное, что на нашем апельсине эта вода занимала бы место меньше булавочной головки. Однако гораздо

серьезнее другое: 75 % пресной воды на Земле находится в виде льда, значительную ее часть составляют подземные воды и лишь 1 % доступен для живых организмов. И эту вот драгоценную влагу мы нещадно загрязняем, при том, что потребление воды непрерывно возрастает.

Под влиянием энергии Солнца и жизнедеятельности биоценозов в биосфере поддерживается определенный баланс воды. Механизм, поддерживающий этот баланс, хорошо известен – это круговорот воды. Мировой баланс воды – величина довольно стабильная. Для существования жизни и развития человеческой цивилизации наиболее важной частью в этом балансе являются пресные воды, которые составляют речной сток, содержатся в озерах и подземных горизонтах.

**Круговорот воды.** До появления биосферы круговорот воды в природе осуществлялся только за счет испарения поверхностных вод водоемов и суши. В этом процессе существуют два круговорота: малый, в котором испарившаяся вода проливается прямо над океаном, и большой, когда облака уносятся ветром в сторону суши и пролившиеся дожди возвращаются в океан в виде поверхностного и речного стоков. В среднем в год с поверхности всех водоемов испаряется около 0,5 млн м<sup>3</sup> воды. Более 90% их возвращается в океан с атмосферными осадками и лишь 10% выпадает в виде осадков на поверхности материков. В некоторых конкретных случаях количество испаренной воды и скорость испарения столь велики, что не восполняются поверхностными стоками. Например, сток воды в Средиземное море не восполняет количества испаренной с его поверхности воды, поэтому в Гибралтаре течение направлено всегда из Атлантики.

Современный круговорот воды происходит с участием биосферы и человека. Цикл его таков: вода, испаренная с поверхности водоемов, почвой, растениями, животными, конденсируется, образуя облака, и выпадает в виде осадков. Часть ее попадает в водоемы непосредственно, часть питает подземные воды, часть потребляется животными и растениями и снова возвращается в Мировой океан уже как продукт жизнедеятельности (рис. 4).

Сравнение схем двух круговоротов воды показывает, насколько усложнилась структура круговорота включением в него биоценозов и человека. Транспирация, т. е. дыхание растений, вносит очень заметный вклад в водный цикл. Так, с единицы поверхности леса испаряется значительно больше воды, чем с такой же поверхности моря. Подсчитано, что с гектара березового леса

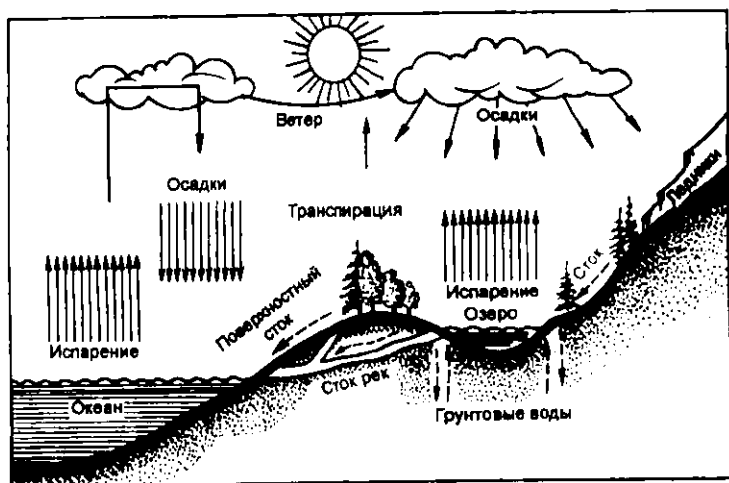


Рис. 4. Круговорот воды

ежедневно испаряется 47 000 л воды, а с гектара елового леса – около 43 000 л. Исследования ученых показали, что сток небольших лесных районов на 50–95 % больше, чем сток открытых безлесных районов. Именно поэтому запрещается вырубать леса в так называемой водоохранной зоне – вдоль малых и крупных рек.

**Атмосфера.** Естественная смесь газов, сложившаяся в ходе эволюции Земли, – это и есть воздух, которым мы дышим. Нужно отметить, что атмосфера Земли совершенно уникальна. Современный состав ее мало похож на тот, который был у газопылевого облака, из которого миллиарды лет назад образовалась наша планета.

Из каких же газов состоит атмосфера? Прежде всего это азот –  $N_2$  (78,08 %), кислород –  $O_2$  (20,9 %), аргон – Ar (около 1 %) и углекислый газ (0,03 %) (табл.3).

Кислород появился на Земле примерно 2 млрд лет тому назад, когда происходило активное формообразование поверхности при активной вулканической деятельности. В настоящее время доля кислорода составляет 21 %, и постепенное возрастание этой доли происходило в течение последних 20 млн лет. Главную роль в этом играло развитие растительного мира суши и океана. С точки зрения планетолога, современная атмосфера Земли представляет собой астрономическое чудо. Почему? Да потому что пятая ее часть состоит из химически очень активного газа – кислорода.

Таблица 3. Газовый состав земной атмосферы

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	по объему	по массе
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар:		
в полярных широтах	0,2	—
у экватора	2,6	—
Озон:		
в тропосфере	0,000001	—
в стратосфере	0,001–0,0001	—
Метан	0,00016	0,0000003
Оксид углерода	Тысячные доли, в воздухе городов – до 0,000008	0,0000078

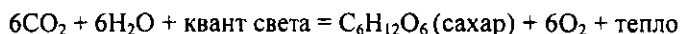
Кислород в земной атмосфере находится в состоянии динамического равновесия. Если бы не жизнедеятельность растений, то исключительно активные молекулы этого элемента вступили бы в различные химические реакции, а значит, за какие-нибудь 10 000 лет исчезли бы из нашей атмосферы.

Без пищи человек может жить пять недель, без воды – пять дней, без воздуха – пять минут. Избыток же кислорода может угрожать нашему существованию, потому что чистый кислород становится ядом, если дышать им очень долго. К тому же, если бы в атмосфере было слишком много кислорода, то горючие материалы стали бы весьма огнеопасными, и их трудно было бы держать под контролем.

Содержание кислорода в воздухе определяет границу распространения жизни для растений и животных. По вертикали это примерно 4000 м. Как известно, кислород образуется в результате фотосинтеза органических продуктов в растениях и поступает



затем в атмосферу. Очень упрощенно этот процесс можно представить себе следующей формулой:



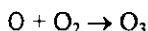
При дыхании происходит реакция, обратная фотосинтезу.

В настоящее время пока наблюдается примерное сохранение равновесия между производством кислорода и его потреблением. Однако интенсивное потребление кислорода промышленностью и транспортом в последнее время вызывает опасение нарушить баланс кислорода в окружающей среде.

Атмосфера предохраняет Землю от метеоритной бомбардировки. Большинство метеоритов никогда не достигают земной поверхности, потому что они сгорают при вхождении в атмосферу с огромной скоростью, создавая при этом иллюзию падающих звезд. Представляете, что бы случилось, если бы вся эта метеоритная масса достигала поверхности Земли?

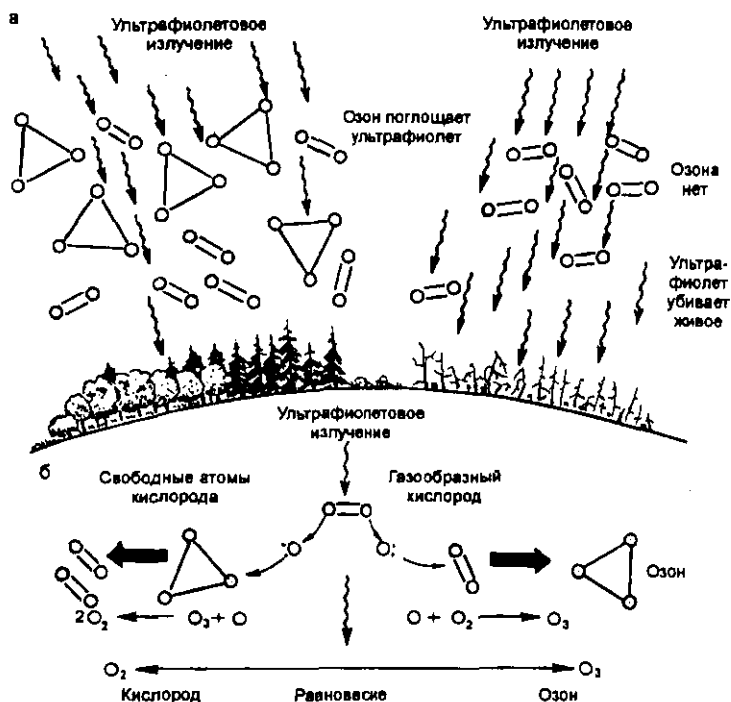
Кроме того, атмосфера также способствует сохранению тепла на планете, которое в противном случае рассеивалось бы в холоде космического пространства. Сама же атмосфера благодаря силам притяжения Земли не улетучивается.

Атмосфера не только поддерживает жизнь, она служит также защитным экраном. На высоте 20–25 км от поверхности Земли под воздействием ультрафиолетовой радиации Солнца часть молекул кислорода расщепляется на свободные атомы кислорода. Последние могут вновь вступать в союз с молекулами кислорода и образовывать трехатомную его форму:



Такая трехатомная форма кислорода называется *озоном*.

Озон играет исключительную роль в жизни нашей планеты. Если кислороду мы обязаны тем, что без него невозможно существование жизни, то озон, образуя в высших слоях атмосферы тонкий слой – так называемый озоновый экран, обеспечивает этой хрупкой земной жизни дальнейшее ее существование (рис. 5). Тонкий слой озона отфильтровывает вредный компонент солнечного излучения – ультрафиолетовые лучи, прямое влияние которых губительно для всего живого. Не будь озонового слоя, это излучение уничтожило бы жизнь на Земле. К сожалению, в 80–90-е годы нашего века наблюдается негативная тенденция истончения и разрушения озонового экрана. Более подробно эту проблему мы будем рассматривать в главе о ресурсах биосферы.



**Рис. 5. Озоновый экран:**

**а** – поглощение озоном ( $\text{O}_3$ ) в стратосфере ультрафиолетовых лучей; **б** – формирование озона в стратосфере

В 1995 г. трем ученым-химикам – американским профессорам Марио Молина и Шервуду Роуланду, а также голландцу Паулю Крутцену была присуждена Нобелевская премия за работы в области химии атмосферы, которые касаются процессов образования и разрушения озонового слоя. Королевская академия наук Швеции отметила, что эти ученые внесли вклад в дело спасения человечества от глобальной экологической катастрофы. В частности, лауреаты выяснили, что озона в атмосфере Земли не так уж и много. Если весь его спрессовать при давлении 760 мм рт. ст., то он образует слой всего в... три миллиметра толщиной!

Круговорот кислорода является очень сложным циклом из-за большого числа его участников. Кислород постоянно циркулирует в океане, биосфере и осадочных породах. Содержание кислорода в воде зависит от его растворимости на поверхно-

сти и фотосинтеза водорослями. Загрязнение воды взвешенными частицами уменьшает ее прозрачность, увеличивает рассеяние света и снижает активность фотосинтеза. Содержание кислорода в воде является одним из показателей ее здоровья. По данным замеров, в большинстве наших водоемов эта величина сейчас ниже нормы.

В процессе сгорания топлива образуется довольно большое количество воды, которая в конечном счете потребляется растением и разлагается в процессе фотосинтеза на атомарный водород и атомарный кислород. Высвободившийся кислород снова поступает в атмосферу и используется для создания органического вещества. Круг замыкается.

Итак, основным и единственным производителем животворного кислорода является зеленое вещество растений. Растения — естественные накопители космической солнечной энергии. Потребители же его — живые организмы: человек, животные, почвенные организмы и сами растения, которые используют кислород в процессе дыхания. Причем если на заре человечества кислород в основном тратился человеком на дыхание, то в наше время научно-технических революций огромная масса кислорода идет на обеспечение промышленного производства, хозяйственной деятельности человека и средств коммуникации. В огромных количествах кислород тратится при сжигании топлива в двигателях автомобилей, самолетов, кораблей, сельскохозяйственных машин, топках электростанций и т. д.

Одна из самых негативных сторон существования современной цивилизации заключается в том, что темпы хозяйственной деятельности человека увеличиваются, а зеленые площади Земли сокращаются. Нещадно вырубаются тропические леса, которые являются основным поставщиком кислорода — «легкими» нашей планеты. В целом с лица Земли ежегодно исчезают лесные территории площадью в три Бельгии. И мы, жители планеты, получаем все меньше кислорода. Леса тропиков вырубаются сейчас со скоростью 23 гектара в минуту, или более 1/3 гектара в секунду! А между тем каждый гектар тропического леса продуцирует 28 т кислорода.

Взрослое дерево за сутки производит 180 л кислорода, а взрослый человек потребляет его в количестве 360 л, если ничего не делает, и до 700–900 л, когда работает. Но это выглядит сущим пустяком на фоне других цифр. Так, легковой автомобиль за тысячу километров пробега расходует столько кислорода, что его

хватило бы человеку на год, а современный реактивный самолет за время перелета из Америки в Европу сжигает от 35 до 55 т кислорода!

Таким образом, деятельность человека во всех ее проявлениях значительным образом влияет на современный круговорот кислорода. Общее количество свободного кислорода в атмосфере оценивается цифрой  $1,8 \cdot 10^{15}$  т. Это именно то количество, которое накопилось благодаря деятельности зеленых растений. В год на современном этапе эволюции Земли продуцируется  $1,55 \cdot 10^9$  т кислорода. Расходуется  $2,16 \cdot 10^{10}$  т. Из приведенных цифр видно, что расход кислорода превышает его образование больше чем на порядок. Есть над чем задуматься.

Круговорот азота. Особое место среди биогенных элементов занимает азот – важный строительный материал для белков, нуклеиновых кислот и других соединений. Азот распространен в биосфере крайне неравномерно. В почве его содержится всего от 0,02 до 0,5 % и то лишь благодаря деятельности микроорганизмов некоторых растений и разложению органических веществ. В то же самое время миллионы тонн азота в атмосфере давят на поверхность Земли. Над каждым гектаром почвы, образно говоря, «висит» до 80 тыс. т этого элемента. Недаром азот называют инертным газом (в переводе с греческого – «безжизненным»). Почему же так получается? Дело в том, что в воздухе азот находится в молекулярном состоянии, то есть в бездействии. Элементом жизни он становится только в химических соединениях – легкорастворимых азотнокислых и аммиачных солях. Однако связанного (хотя бы в простые оксиды) азота в воздухе нет.

Несмотря на то что азота в атмосфере присутствует довольно большое количество, большинство организмов не может ассимилировать его. Буквально купаясь в азоте, растения не в состоянии извлечь его из атмосферы. Азот практически не участвует в геохимических процессах и лишь накапливается в атмосфере.

Основными стадиями круговорота азота являются фиксация, аммонификация, нитрификация и денитрификация (рис. 6).

Пути *фиксации* азота в биосфере могут быть разными. Прежде всего это поступление его вместе с дождевыми водами из атмосферы, главным образом во время гроз. Небольшая часть азота попадает в биосферу при вулканических извержениях и значительное количество – в результате выбросов промышленных предприятий. Но основным источником азота является биологическая фиксация – связывание атмосферного азота свободно-

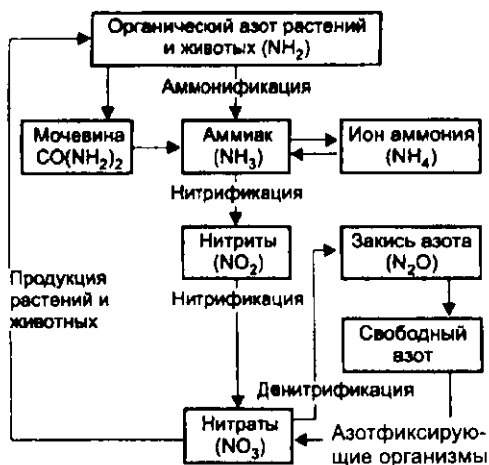


Рис. 6. Схема круговорота азота в биосфере

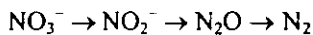
живущими азотфиксирующими бактериями – азотобактером, цианобактериями и другими, а также азотфиксаторами, живущими в симбиозе (совместное сожительство) с высшими растениями, например клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений.

В таких симбиотических системах азот становится доступен растениям в виде аммиака ( $\text{NH}_3$ ) или иона аммония ( $\text{NH}_4^+$ ). Образование аммиака происходит в результате *аммонификации* – разложения микроорганизмами азотсодержащих органических соединений – белков, нуклеиновых кислот, мочевины и др.

Аммиак легко растворяется в воде. Часть его может поглощаться непосредственно растениями, часть вымывается из почвы, а оставшийся аммиак подвергается действию специализированных бактерий при *нитрификации*. В результате этого процесса распада органических азотсодержащих соединений корни растений получают нитриты и нитраты, образующиеся в ходе реакции



Процесс восстановления нитритов и нитратов до газообразных азотистых продуктов называется *денитрификацией*. В результате этого процесса денитрифицирующие бактерии восстанавливают ион  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{N}_2$ . Денитрификация происходит в несколько этапов:



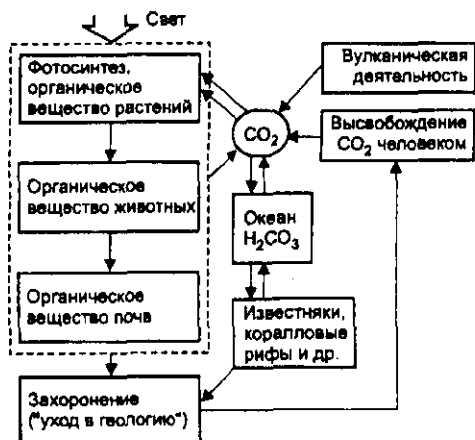


Рис. 7. Схема круговорота углерода в биосфере

На каждом из этапов выделяется кислород, который необходим денитрифицирующим бактериям (например, из рода *Pseudomonas*) для дыхания при отсутствии в почве свободного кислорода.

Таким образом, в ходе денитрификации связанный азот удаляется из почвы и воды и в виде газообразного азота возвращается в атмосферу. Денитрификация замыкает цикл азота и препятствует накоплению его оксидов, которые в высоких концентрациях токсичны.

**Круговорот углерода.** В наиболее общем виде его можно представить как процесс освобождения и связывания диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), включая его растворение в воде океанов (рис. 7). Предполагается, что углерод распределен в довольно тонком слое земной коры, в атмосфере в виде диоксида и оксида углерода и в животной и растительной биомассе. Основные запасы углерода в природе содержатся в минералах и горных породах в основном в форме карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) и гидрокарбонатов ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), представляющих собой растворимые и нерастворимые донные отложения в Мировом океане, накопившиеся за миллионы лет геологической истории Земли. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Углекислый газ, содержащийся в воздухе и воде, составляет запас углерода, участвующего в создании биомассы. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере нестабильно (менее одного процента) и подвержено сезонным изменениям. В настоящее время наблюдается его увеличение, связанное с антропогенным воздействием. Если сто лет назад содержание углекислого газа составляло примерно 270 частей на миллион, то сегодня эта цифра выросла до 350 частей на миллион.

Постепенно растет (на 1–2 % ежегодно) содержание в атмосфере метана и оксида углерода, что также связано с сельским хозяйством и энергетикой.

Если в круговороте кислорода зеленые растения являются его поставщиком в атмосферу, то в круговороте углерода они являются мощным механизмом, улавливающим его из атмосферы в виде углекислого газа и связывающим в органические соединения. В процессе фотосинтеза углерод ассимилируется растениями и переводится в углеводы. В процессе же дыхания происходит обратный процесс: углерод органических соединений превращается в диоксид углерода.

Ежегодно наземные растения связывают около 18 млрд т углерода, растения морей – 25 млрд т. Еще одним мощным утилизатором углерода являются морские организмы, которые используют его для формирования своих скелетов. В дальнейшем остатки отмерших морских организмов опускаются на дно морей и океанов и образуют мощные отложения известняков.

В воде углекислый газ растворяется в 35 раз лучше кислорода. От его содержания в воде зависит количество растворенных гидрокарбонатов, т. е. жесткость воды. Если содержание  $\text{CO}_2$  в воде уменьшается, то выпадает осадок нерастворенного карбоната, который будет растворен при восстановлении равновесия между углекислым газом и гидрокарбонатом.

В технике и быту нарушение углекислотного равновесия приводит к образованию накипи в котлах ТЭЦ, котельных и других системах, использующих воду. В природных условиях результатом этой реакции является образование полостей в земной коре, сталактитов и сталагмитов.

**Почва.** Древняя китайская мудрость гласит: состояние земли и прежде всего пашни – лучший показатель нравственного здоровья общества. А что представляет собой земля, почва? Это результат терпеливого многовекового труда природы. Это та грязь, по поводу которой мы часто произносим нелицеприятные выражения. И никому в голову не приходит, что почва представляет собой уникальное и легкоуязвимое природное образование. Достаточно сказать, что жизненно необходимый обмен минеральными веществами между биосферой и неорганическим миром происходит именно в почве. Почва – словно живое существо, недаром про нее, как про женщину, говорят: она рождает. Урождает почва – быть урожаю, быть хлебу. Иссыкает почвенное плодородие – и массы людей снимаются с обжитых поселений в поисках подходящего места, куда можно было бы опустить зерно.

Растения получают воду и питательные вещества из почвы. Листья и ветки, отмирая, возвращаются в почву, где разлагаются, высвобождая содержащиеся в них минеральные вещества. В поверхностных слоях почвы, куда поступает самое свежее мертвое органическое вещество, обитает множество организмов-разрушителей – бактерий и грибов, мельчайших членистоногих и червей, термитов и многоножек. Их активность обеспечивает развитие почвы сверху, тогда как физическое и химическое разрушение коренной породы способствует образованию почвы снизу.

Роль почвы многообразна: с одной стороны, это важный участник всех природных круговоротов, с другой – основа для производства биомассы. Для получения растительной и животной продукции человечество использует около 10% суши под пашню и около 20 % – под пастбища. Это та часть земной поверхности, которую, как полагают специалисты, уже не удастся увеличить, несмотря на необходимость производства все большего количества продовольствия в связи с ростом народонаселения.

*Почва* – это рыхлый поверхностный слой земной коры, который образовался в процессе выветривания, деятельности живых организмов, разложения органических остатков и перемешивания полученных веществ. Русский почвовед В. В. Докучаев дал такую оценку почве: «... почва есть такое же самостоятельное, естественноисторическое тело, как любое растение, любое животное». В. И. Вернадский также считал почву живым организмом и назвал ее биокосным телом.

Разновидностей почв несколько тысяч, и это требует исключительной грамотности при их использовании. *Профилем почвы* называют описание последовательности слагающих ее слоев, или горизонтов, которые изменяются в зависимости от глубины залегания. Колая землю, можно заметить, что цвет почвы и ее структура меняются с глубиной от темного гумусного слоя к светлому песчаному или глинистому. Самым важным является гумусный слой, содержащий остатки растительности и определяющий плодородие почвы. В наиболее богатых гумусом черноземах толщина этого слоя достигает 1–1,5 м, иногда до 3–4 м, в бедных – около 10 см. Последовательность профилей образует *почвенный ряд*. Представить себе мощность почвенного покрова планеты Земля можно, если на линии примерно в 6350 км (радиус Земли) отложить ряд отрезков длиной от 10–20 см до 3–4 м.

Почва содержит химические элементы, которые нужны для поддержания жизнедеятельности людей и животных. Но сначала



растения должны сформировать эти элементы таким образом, чтобы они могли усваиваться живыми существами. В этом с ними сотрудничают микроорганизмы (бактерии, водоросли, грибы, простейшие). В одной только чайной ложке почвы их насчитывается много миллионов! По своему строению они бесконечно разнообразны, но все заняты превращением отмерших листьев, травы и других органических остатков в усвояемую форму, а также взрыхлением почвы для лучшего проникновения в нее воздуха и воды. Благодаря большому количеству различных живых существ, перерабатывающих в почве остатки растительности и животных, формирующих ее структуру и продуктивность, почва является живым организмом, в котором непрерывно протекает множество физических процессов, реакций химического разложения и синтеза. Верхний слой почвы улучшается благодаря тому, что черви и насекомые, прорывая в нем ходы, постоянно выносят на поверхность частицы подпочвы.

Почва – главный фундамент жизни. Все живое на Земле зависит от этого тонкого драгоценного жизнеродящего слоя земной поверхности. Земля накапливала его многие тысячелетия с очень медленной скоростью: один сантиметр чернозема за 100, а иногда и за 300 лет. Человек же разрушает почву на глубину один сантиметр за три года, к тому же теряя еще большие площади из-за засоления, перевыпасов, роста городов, отравляя землю химикатами. За время только одного дождя с распаханного поля может быть смыт слой плодородной почвы толщиной от 5 до 10 см. А ведь ни в одной лаборатории и никаким путем, кроме природного, естественного, почву создать нельзя.

Полезно напомнить, что мировые запасы плодородных почв составляют примерно 15 млн км<sup>2</sup>, потери – около 20 млн км<sup>2</sup>, причем около 40 % обрабатываемых земель частично утратили плодородие.

Основные причины потерь и деградации почв можно свести к нескольким пунктам:

- ветровая и водная эрозия при механической обработке;
- отведение земель под строительство городов, предприятий, дорог и т. п.;
- затопление при строительстве ГЭС;
- загрязнение отходами производства и быта;
- закисление кислотными дождями;
- засоление при неграмотной мелиорации;
- потери при авариях на АЭС.

## ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

**Свет.** Наиболее значимым фактором внешней среды является свет. Почему мы ставим его на первое место? Прежде всего потому, что без света невозможна фотосинтетическая деятельность растений, а без последней невозможна жизнь вообще, поскольку зеленые растения имеют способность продуцировать необходимый для жизни живых существ кислород.

Однако есть и другие аспекты воздействия света на живые организмы. Необходимость света для растений существенно влияет на структуру сообществ. Распространение водных растений, океанических животных и планктона ограничено областью проникновения солнечных лучей.

Солнце излучает в космическое пространство громадное количество электромагнитных волн разной длины и частоты. Излучение, воспринимаемое нашим глазом, — это лишь часть спектра электромагнитных колебаний. Эта область охватывает диапазон волн длиной 0,39–0,76 мкм\*. Электромагнитные волны большей длины лежат в инфракрасной области спектра (0,76–4,0 мкм). Они воспринимаются человеком как тепло. Более короткие — ультрафиолетовые волны (<0,4 мкм) наши органы чувств непосредственно не воспринимают. Другие живые существа, в частности насекомые, наоборот, воспринимают инфракрасные и ультрафиолетовые излучения, недоступные человеку (рис.8). На рисунке 9 показано зрительное восприятие цветочного луга человеком (слева) и пчелой.

Часть солнечных лучей, преодолев огромное расстояние, достигает поверхности Земли, освещает и обогревает ее. Примерно половина лучистой энергии приходится на видимые лучи, около половины — на тепловые инфракрасные, и около 1% — на ультрафиолетовые. Подсчитано, что на нашу планету поступает около одной двухмиллиардной части солнечной энергии, а из этого количества лишь 0,1–0,2% используется зелеными растениями на создание органического вещества.

Солнечная энергия, которую зеленые растения поглощают и используют, называется *физиологически активной радиацией* (ФАР). В этом спектральном диапазоне (0,38–0,71 мкм) в живых организмах совершаются важнейшие фотобиологические процессы. Показатели ФАР очень изменчивы. Оказывается, для растений наиболее продуктивными являются не прямые солнечные

---

\*1 мкм (микромметр) равен 0,001 мм.

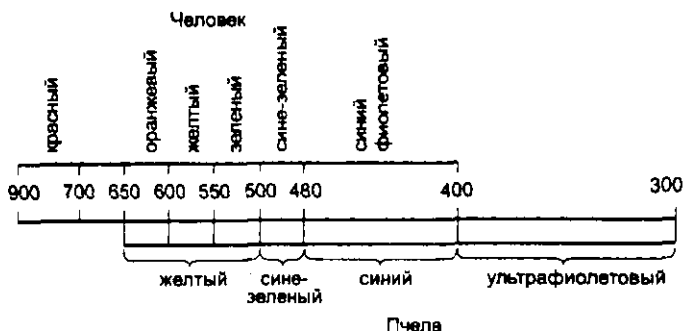


Рис. 8. Восприятие света человеком и пчелой

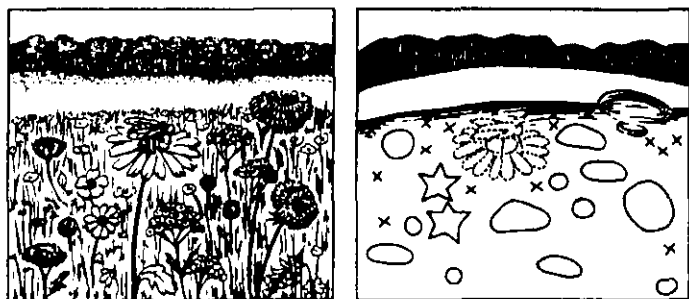


Рис. 9. Цветочный луг, каким его видим мы (слева) и каким он представляется пчеле (справа)

лучи, которые падают перпендикулярно на зеленую поверхность листьев, а рассеянные. В таких лучах содержится около 70% доступного для растений излучения против 35% в прямонаправленных лучах.

Световой фактор играет для растений весьма важную роль: от интенсивности солнечного освещения зависит продуктивность, производительность растений. Однако световой режим на Земле довольно разнообразен. В лесу он иной, чем на лугу. Освещение в лиственном и темнохвойном еловом лесу заметно различается. Таких примеров можно привести множество. Конечно, растения стремятся как можно полнее использовать ту солнечную радиацию, которая достигает земли. Присмотритесь к комнатным растениям на ваших подоконниках. Они так и тянутся к солнечному свету, а если его недостаточно, то вытягиваются, истончаются, листья их мельчают.

Каким же образом растения приспосабливаются к условиям различной освещенности в природе? Помог им в этом естественный отбор, благодаря которому возникли различные приспособления, позволяющие им жить в разнообразных условиях освещенности. По степени освещенности в естественных местообитаниях растения можно разбить на несколько групп. В связи с этим хочется остановиться на кочующем из книги в книгу, где речь идет об экологии растений, заблуждении. Во многих учебниках, справочниках по экологии дается такая градация растений по отношению к свету: светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые. То есть одни растения любят светлые места произрастания, другие же, наоборот, обожают тень.

Давайте разберемся. Места, куда свет проникает в очень малых количествах, — это неблагоприятные условия существования для любых организмов. Не составляют исключений и растения. Тень — это неблагоприятный фактор для их развития. И поэтому в принципе каждое растение старается «ухватить» как можно больше солнечного света для успешного обеспечения фотосинтетического процесса. Однако не всегда желания совпадают с возможностями, и по отношению к фактору освещенности в мире растений происходит жесткая конкуренция. Виды, уже приспособившиеся жить в комфортных условиях, не допускают другие, которые в конкурентном отношении менее сильны. Такие виды и оттесняются в места с неблагоприятным световым режимом, в тень. Происходит раздел сфер влияния. Но и здесь, где, казалось бы, не каждое растение хочет расти, тоже свои раздоры. Ведь существуют места, скажем, в лесу, с различной освещенностью. В итоге одни растения остаются в слабой тени, другие же вынуждены отступить в еще большую тень. Эволюционным путем такие группы растений приспосабливаются жить в сильной тени, скажем, под пологом густого елового леса, где конкурентов у них уже нет. Это не значит, что они не любят свет (якобы тенелюбивые). Они просто вынуждены терпеть эволюционно сложившиеся фитоценотические отношения. Согласитесь — любить и терпеть — это разные вещи. Другое дело, что в процессе длительной эволюции фотосинтетический аппарат у них приспособился к проявлению предельной интенсивности фотосинтеза в условиях малой освещенности. Но это как раз и есть то приспособление, благодаря которому им удалось уцелеть в условиях жесткой конкуренции. Развитие главенствующей древесной растительности эволюционно закрепило их статус. Так они и стали изгоями растительного мира.

Таким образом, все растения по отношению к свету можно разделить на следующие группы: растения *теневые* – *сциофиты* (от греч. «сциа» – тень и «фитон» – растение), растения *теневыносливые* и растения *светлюбивые* – *гелиофиты* (от греч. «гелиос» – солнце и «фитон» – растение).

Для сциофитов зоной оптимума служат только затененные места, при сильной освещенности они чувствуют себя плохо. Растения этой группы адаптировались к условиям сильного затенения темнохвойных таежных, широколиственных и тропических влажных лесов. Обычно адаптация к условиям недостаточной освещенности сочетается у них с высокой потребностью в водоснабжении. В условиях сильной освещенности сциофиты не могут эффективно регулировать транспирацию и обычно высыхают. Типичные представители темных местообитаний – это зеленые мхи, плауны, кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), седмичник европейский (*Trientalis europaeus*), барвинок малый (*Vinca minor*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*) и др.

Теневыносливые растения способны развиваться как при очень большом, так и при малом количестве света. В качестве примера таких растений можно указать некоторые деревья: ель обыкновенную (*Picea abies*), клен остролистный (*Acer platanoides*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*); кустарники – лещину (*Corylus avellana*), боярышник (*Crataegus monogyna*); травы – землянику (*Fragaria vesca*), герань полевую (*Geranium pratense*); многие комнатные растения.

Гелиофиты либо совсем не переносят, либо плохо переносят даже незначительное затенение. К этой группе относятся степные и луговые злаки, растения тундр, ранневесенние растения, большинство культурных растений открытого грунта, многие сорняки. Из видов этой группы можно отметить подорожник обыкновенный (*Plantago major*), иван-чай (*Chamaerion angustifolium*), вейник тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea*) и др.

**Температура.** Большая часть обитающих на Земле видов приспособлена к жизни в довольно узкой температурной амплитуде, причем, как правило, верхние температурные границы оказываются более критическими, нежели нижние. И хотя существуют организмы, способные переносить как высокие (некоторые цианобактерии могут существовать при 80–88 °C), так и низкие температуры, тем не менее область распространения живого в основном ограничена диапазоном чуть ниже 0 °C и до 50 °C. Жидкости, находящиеся в тканях животных и растений, не явля-

ются чистой водой, а представляют собой растворы белков и солей. Поэтому они превращаются в лед не при нуле, а при температуре чуть ниже точки замерзания чистой воды.

Конечно, известны и исключения, когда живые организмы переносят неблагоприятно низкие и высокие температуры без непосредственного ущерба для себя. Например, одна из жужелиц Аляски (*Pterostichus brevicorni*) в условиях эксперимента перенесла охлаждение  $-87^{\circ}\text{C}$  в течение пяти часов. В исландских термальных (теплых) источниках температура воды обычно держится близ отметки  $+55^{\circ}\text{C}$ . Здесь часто можно встретить личинки мушки *Scatella*. Обычно к высоким температурам приспосабливаются беспозвоночные животные, такие как мелкая амeba (*Amoeba limax*), которая выдерживает температуру  $54^{\circ}\text{C}$  (горячие источники Италии). Позвоночные в подавляющем большинстве не в состоянии выдерживать такие экстремально высокие температуры, хотя и здесь есть исключения. Например, рыба карпозубик (*Cyprinodon nevadensis*) в горячих источниках пустыни штата Невада (США) выносит температуру воды около  $42^{\circ}\text{C}$ .

Основным источником тепла, как и света, является солнечное излучение. Организм может выживать только в определенных температурных пределах, к которым приспособлен его метаболизм (обмен веществ). 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 так называемая денатурация белков. Именно это происходит при варке куриного яйца.

Большинство организмов способно в той или иной мере контролировать температуру своего тела с помощью различных ответных реакций. У подавляющего числа живых существ температура тела может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды. Такие организмы не способны регулировать свою собственную температуру и называются *пойкилотермными*. Их активность в основном зависит от тепла, поступающего извне. Температура тела пойкилотермных организмов связана со значениями температуры окружающей среды (рис. 10, 11). К этой группе организмов относятся все растения, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы, рептилии и др.

Значительно меньшее количество живых существ способно к активному регулированию температуры тела. Это представители двух высших классов позвоночных – птицы и млекопитающие. Вырабатываемое ими тепло является продуктом биохимических реакций

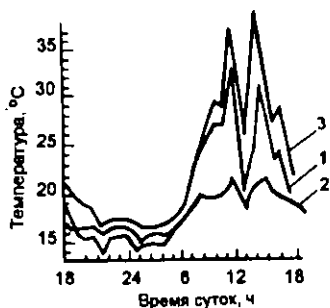


Рис. 10. Суточная динамика температуры листа катрана *Crambe maritima* (1) в зависимости от температуры воздуха (2) и почвы (3). Листья катрана расположены в невысокой розетке

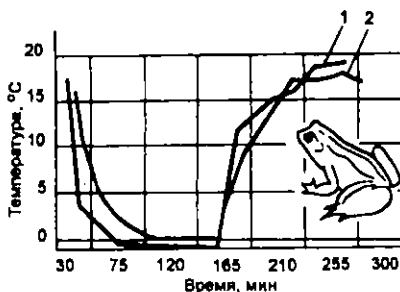


Рис. 11. Влияние изменений температуры воздуха (1) на температуру тела лягушки *Rana temporaria* (2)

и служит существенным источником повышения температуры тела. Такая температура поддерживается на постоянном уровне независимо от температуры окружающей среды. Организмы, способные поддерживать постоянную оптимальную температуру тела независимо от температуры среды, называются *гомойотермные*.

Частный случай гомойотермии — *гетеротермия*. Гетеротермные организмы в период активности обладают постоянной температурой тела, а в период отдыха или зимней спячки она значительно понижается. Гетеротермность характерна для сусликов, сурков, барсуков, летучих мышей, ежей, медведей, колибри и др.

**Влажность.** Для громадного числа живых организмов вода является одним из главных экологических факторов. Исключительная значимость воды состоит в том, что она является основным условием существования всего живого на Земле. Все жизненные процессы в клетках живых организмов протекают в водной среде.

Вода — основа живой материи. Тело человека на 65 % состоит из воды. Если посчитать в литрах, то это будет 40–50 л в человеке среднего возраста и среднего веса. Для поддержания водного баланса медики рекомендуют выпивать в сутки два литра воды.

Тела животных содержат, как правило, не менее 50 % воды. Великан из мира животных — слон — на 70 % состоит из воды; столько же ее в теле утки-кряквы; гусеницы, поедающие листья растений, состоят из воды на 85–90 %; у медуз воды более 99 %. Из животных наиболее «сухой» амбарный долгоносик (*Sithophilus granarus*) — в его теле содержится всего 46 % воды.

Сочные плоды и корнеплоды растений также содержат большое количество воды: в картофеле ее 80 %, в помидоре – 95 %.

Организмы теряют воду прежде всего в процессе метаболизма; теряется она и при испарении с поверхности тела. Для поддержания жизнедеятельности животным приходится восполнять недостаток воды. Количество воды, которое может потерять живой организм без ущерба для себя, колеблется в широких пределах. Для млекопитающих эти величины составляют 10–15 % от их веса. Исключением являются верблюд, который способен возместить потерю воды в количестве до 30 % веса (выпивая сразу 10–15 ведер воды, верблюд в четверть часа восстанавливает свой прежний вид), и домовая мышь, выдерживающая потерю до 40 % воды. Такая устойчивость к «высыханию» позволяет мыши селиться в жилищах человека.

Современное распространение жизни на Земле напрямую связано с осадками. Влажность в разных точках земного шара неодинакова. Больше всего осадков выпадает в экваториальной зоне и особенно много в верхнем течении реки Амазонки и на островах Малайского архипелага. Количество их в отдельных районах достигает 12 000 мм в год. Для сравнения в тундре и пустынях выпадает менее 250 мм осадков в год. Как видим, разница значительная.

Говоря об экологической роли воды, нужно учитывать характер выпадающих осадков. Всем известно выражение «грибной дождь», когда продолжительно морозящая влага хорошо увлажняет почву. Для растений такой дождь гораздо более ценен, чем кратковременный ливень, несущий большие потоки воды. Атмосферные осадки в любой форме (дождь, туман, снег, иней и т. д.) создают приток воды в почву, через нее к растениям, а от них к травоядным животным. Различные типы осадков в разных местах могут отличаться по воздействию на водный баланс территории. Например, в лесах побережий и в пустынях очень важный вклад в общее количество осадков вносят роса и приземный туман. Отмечено, что на Западном побережье США туман за год дает в два-три раза больше воды, чем ее выпадает с осадками (Одум, 1986).

Как уже отмечалось, животные по-разному относятся к влаге. Отличаются потребности в воде и у представителей флоры. Известно, что одни растения предпочитают влажную среду – окраины озер, болота, другие прекрасно чувствуют себя при значительном недостатке влаги и способны произрастать чуть ли не на голом песке. Такое отношение растительных организмов к воде



выработалось у них за время длительного эволюционного процесса.

По отношению к влажности все растения делятся на различные экологические группы. Растения, для которых вода не просто экологический фактор, а среда обитания, составляют группу водных растений.

1. Растения, полностью или большей своей частью погруженные в воду, называются *гидатофиты* (от греч. «гидатос» – вода и «фитон» – растение). К гидатофитам относятся такие обычные водные растения, как кувшинка белая (*Nymphaea alba*), кубышка желтая (*Nuphar lutea*), стрелолист (*Sagittaria sagittifolia*).

2. Растения, погруженные в воду меньшей своей частью, – это *гидрофиты* (от греч. «гидро» – вода). Среди них можно назвать тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), частуху подорожниковую (*Alisma plantago-aquatica*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*) и др.

Растения с надземными частями, не погруженными в воду, разделяются еще на три группы.

3. Растения, приуроченные к избыточно увлажненным местообитаниям, где воздух насыщен водяными парами, относятся к *гигрофитам* (греч. «гигрос» – влажный). Это калужница болотная (*Caltha palustris*), чистяк весенний (*Ficaria verna*), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*).

4. Растения умеренно влажных местообитаний – это *мезофиты* (от греч. «мезос» – средний). В наших условиях это наиболее обширная экологическая группа растений. Здесь и обычные луговые травы (клевера луговой, ползучий, средний – *Trifolium pratense*, *T. repens*, *T. medium*) и большинство лесных трав (ландыш майский – *Convallaria majalis*, майник двулистный – *Majanthemum bifolium*, папоротник орляк – *Pteridium aquilinum*), и почти все лиственные деревья – осина, береза, клен, ольха, многие полевые культуры и сорняки.

5. Растения, приспособившиеся к местам с засушливым климатом и способные переносить большой недостаток влаги, называются *ксерофитами* (от греч. «ксерос» – сухой). К ним относятся такие обитатели сухих песчаных почв, как молодило (*Sempervivum tectorum*) и очиток едкий (*Sedum acre*).

Среди ксерофитов выделяются растения с сочными, мясистыми стеблями или листьями. Эта группа растений носит название *суккулентов* (от лат. «суккулентус» – сочный, жирный). Все они в процессе эволюции выработали свойство накапливать воду в

листьях или стеблях. К суккулентам относятся такие популярные у цветоводов растения, как кактусы. Некоторые кактусы способны концентрировать в своих стеблях до 3000 л воды и экономно расходовать ее в условиях засушливого климата. К этой же группе принадлежат разводимые многими в лечебных целях виды из рода алоэ и бриофиллум.

Встречаются суккуленты в разных семействах растительного царства и обитают на всех материках земного шара, но больше всего их произрастает в засушливых пустынях и полупустынях Африки и Америки.

## ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

В 1840 г. немецкий ученый-агрохимик Юстус Либих выпустил небольшую книжку «Химия в приложении к земледелию и физиологии». В ней он описывал процессы питания растений и влияние разнообразных факторов и элементов питания на их рост. Ученый установил, что урожай культур зачастую ограничивается (лимитируется) не теми элементами питания, которые требуются в больших количествах, такими как, к примеру, углекислый газ и вода (обычно эти вещества присутствуют в среде в изобилии), а теми, которые необходимы в минимальных количествах, но которых и в почве очень мало (например, цинк).

Либих обобщил свои представления и результаты исследований в тезисах, вышедших в 1855 г. Тогда же и появилось выражение «закон минимума Либиха», хотя сам Либих ни о каком законе не говорил. Он писал: «Если в почве или в атмосфере один из элементов, участвующих в питании растений, находится в недостаточном количестве или не обладает достаточной усвояемостью, растение не развивается или развивается плохо. Элемент, полностью отсутствующий или не находящийся в нужном количестве, препятствует прочим питательным соединениям произвести их эффект или, по крайней мере, уменьшает их питательное действие... Отсутствие или недостаток одного из необходимых элементов при наличии в почве всех прочих делает последнюю бесплодной для всех растений, для жизни которых этот элемент необходим».

В простейшем виде, применительно к конкретным опытам ученого, закон, названный его именем, гласит: рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в мини-

мальном количестве (минимуме). В более общем смысле закон Либиха можно сформулировать следующим образом: жизненные возможности лимитируют экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму. Отсюда следует важный вывод: дальнейшее снижение действия необходимого фактора ведет к гибели организма либо к разрушению экосистемы в целом.

При формулировании своих обобщений Либих пользовался определением «лимитирующий» по отношению к факторам среды. В экологии под *лимитирующим (ограничивающим) фактором* понимается любой фактор, который ограничивает процесс развития или существования организма, вида или сообщества. Им может быть любой из действующих в природе экологических факторов: вода, тепло, свет, ветер, рельеф, содержание в почве необходимых для жизнедеятельности растений солей и химических элементов, а в водной среде – химизм и качество воды, количество доступного кислорода и углекислого газа.

В Мировом океане развитие жизни лимитируется главным образом недостатком азота и фосфора. Поэтому любой подъем на поверхность донных вод, обогащенных этими минеральными элементами, оказывает благотворное влияние на развитие жизни. Особенно ярко это проявляется в тропических и субтропических районах. Такое явление подъема глубинных океанических вод к поверхности называется *апвеллингом* (от англ. *up* – наверх и *to well* – хлынуть). Зоны апвеллинга встречаются там, где ветры постоянно отгоняют воду от крутого берегового склона. Холодная вода, поднимаясь с глубин океана, несет с собой накопленные биогенные элементы. Именно поэтому в таких зонах продуктивность выше. Процесс апвеллинга поддерживают также и многочисленные популяции морских птиц, которые откладывают на берегах и островах огромные массы так называемого гуано, богатого нитратами и фосфатами. Здесь наблюдается значительное увеличение численности популяций рыб, поэтому подобные зоны – это наиболее рыбопродуктивные области океанов, где особенно развит рыбный промысел.

Изучая различное лимитирующее действие экологических факторов на насекомых, американский зоолог Виктор Эрнест Шелфорд (1877–1968) пришел к выводу, что лимитирующим может быть не только недостаток, но и избыток таких факторов, как свет, тепло, вода. В экологии такое положение носит название *закона толерантности Шелфорда*, сформулированного им



Рис. 12. Результаты действия фактора.  
«Правило оптимума»

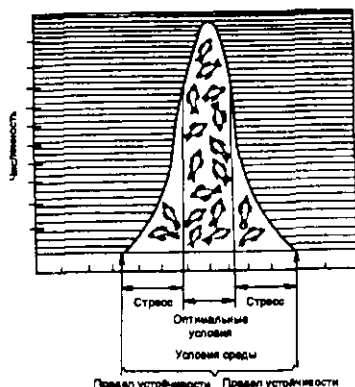


Рис. 13. Наибольшее обилие особей вида наблюдается в оптимальных для него условиях; меньше там, где условия менее благоприятны. За пределами устойчивости вида его представители не встречаются

в 1913 г. Он гласит: лимитирующим фактором, ограничивающим развитие организма, может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия. Диапазон между этими величинами определяет величину выносливости организма. Каждый организм можно характеризовать экологическим минимумом и экологическим максимумом.

Диапазон толерантности по каждому фактору ограничен его минимальными и максимальными значениями, в пределах которых только и может существовать данный организм. Между этими минимальными и максимальными значениями располагается экологический оптимум (рис. 12).

Максимальные и минимальные значения какого-либо фактора — это крайние точки, за пределами которых существование организма невозможно (рис. 13). Пределы выносливости между такими критическими точками называют *экологической валентностью*.

Для выражения степени толерантности в экологии применяются термины, использующие приставки *стено-* (узкий) и *эври-* (широкий). Маловыносливые организмы, узко ограниченные каким-либо экологическим фактором и способные обитать только в условиях устойчивого постоянства этого факторы, называют *стенобионтами*. К ним обычно принадлежат многие паразиты,

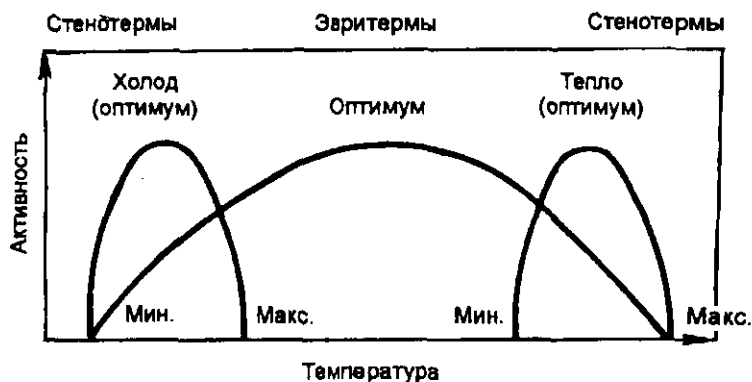


Рис. 14. Диапазон активности эвритермных и стенотермных организмов

виды, обитающие на океанических глубинах, в пещерах, тропических лесах. Напротив, организмы, способные существовать при широких амплитудах факторов окружающей среды, называют *эврибионтами*. К ним относятся многие наземные животные. Если хотят подчеркнуть отношение организма к конкретному фактору, то используют термины, первая часть которых образована приставками стено- или эври-, а вторая содержит указание на конкретный фактор, например: эвритермный – вид, имеющий широкий температурный интервал, стенофагный – вид с узкой пищевой специализацией и т. п. (рис. 14).

Как отмечают многие экологи, смысл закона толерантности вполне понятен. Плохо как недокормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона вытекает следующее следствие: любой избыток вещества или энергии является загрязняющим среду компонентом. Например, в засушливых областях избыток воды вреден, и вода может рассматриваться как обычный загрязнитель.

Концепция лимитирующих факторов оказалась весьма важной и полезной для экологов, вынужденных принимать решения в экстремальных ситуациях. Как известно, взаимоотношения между средой и организмом в природе весьма сложны, многообразны и отличаются поливариантностью. Экологу подчас весьма трудно принять правильное решение, касающееся какой-либо ситуации или вида организма. Однако в каждой конкретной ситуации всегда возможно выделить наиболее слабые связи между организмами, составляющими сообщество, либо между организмами и

средой. Следующий шаг — концентрация внимания на тех факторах внешней среды, которые с наибольшей вероятностью могут оказаться либо лимитирующими, либо критическими.

Изучая рыб, обитающих в пруду, который получает нагретую воду от электростанции, исследователи констатировали повышенную смертность в их популяции. Анализ показал, что температура воды является лимитирующим фактором, сдерживающим размножение и сохранение популяции. Рыбы вынуждены были тратить всю энергию или большую ее часть на преодоление теплового стресса. В связи с этим им не хватало энергии на добывание пищи и на деятельность, связанную с размножением.

Итак, для каждого вида существуют пределы значений жизненно необходимых факторов абиотической среды, которые ограничивают зону его толерантности (устойчивости). Живой организм может существовать в некотором определенном интервале значений факторов. Чем шире этот интервал, тем больше устойчивость, или толерантность, данного организма. Закон толерантности является одним из основополагающих принципов современной экологии.

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ

Живые организмы не только приспосабливаются к физическим (абиотическим) факторам среды в том смысле, что переносят различные их неблагоприятные воздействия. Для распределения своих функций во времени и «программирования» жизненных циклов они используют естественную периодичность этих факторов, чтобы как можно более оптимально использовать благоприятные условия. Если учесть, что существуют взаимный естественный отбор (сопряженная эволюция) и взаимодействия между организмами, то все сообщество становится запрограммированным для реакции на сезонные и другие ритмы.

Многие формы поведения организмов повторяются с регулярными интервалами. Они служат одним из проявлений биологических ритмов, или биоритмов. Хорошо известны такие примеры, как периоды ухаживания и гнездования у птиц весной и перелеты определенных видов осенью. Рекорд дальности здесь принадлежит полярным крачкам. Они гнездятся в Арктике, а в конце лета летят на юг, чтобы провести антарктическое лето на паковом льду вблизи Южного полюса. За год они покрывают расстояние в 35 000 км. Белые аисты проводят лето в Европе, а на

зиму улетают за 13 000 км в Южную Африку. Краснозобая колибри мигрирует через Мексиканский залив, покрывая расстояние в 1 000 км. Можно только поразиться, узнав, что такой перелет осуществляет птичка весом всего в 3 г! В течение 25 ч она своими крылышками каждую секунду совершает до 75 взмахов — свыше шести миллионов взмахов без остановки. Многощетинковый червь пескожил, роющий норки в илисто-песчаном грунте, каждые 6–7 мин вылезает наружу, чтобы добыть пищу. Такой цикл питания не связан с какими-то внешними или внутренними физиологически мотивационными стимулами. Примеров можно привести множество.

Надежный сигнал, по которому организмы умеренной зоны упорядочивают во времени свою активность, — это длина дня, или *фотопериод*. Почему живые существа сверяют действие своего организма по длине дня? Ответ прост. В отличие от других сезонных факторов длина дня в данное время года и в данном месте всегда одинакова. Однако с географической широтой амплитуда ее сезонных изменений возрастает. Живые организмы приспособились к этому и учитывают не только время года, но и широту местности.

Наиболее постоянна продолжительность дня на экваторе. Она составляет там примерно 12 ч. Чем дальше от экватора, тем больше сезонные колебания длины дня. Поэтому именно в умеренных широтах продолжительность дня (она изменяется в течение года в пределах примерно от 9 до 15 ч) является очень важным внешним фактором для большинства живых организмов.

У растений такие явления, как цветение, образование плодов или семян, листопад и прорастание семян, тесным образом связаны с сезонными изменениями длины дня и температуры.

Явление фотопериода было открыто в 1910 г. американскими учеными на растениях табака. Они показали, что эти растения зацветают лишь после выдерживания их в течение нескольких дней на коротком фотопериоде. В естественных условиях это происходит осенью, но короткий день (продолжительностью 7 ч) можно создать и искусственно, например в теплицах. Когда был исследован ряд других растений, оказалось, что некоторым растениям нужен длинный день (растения длинного дня), другим — короткий, а некоторые зацветают независимо от длины дня (нейтральные в отношении фотопериода растения) (рис. 15).



**Рис. 15.** Типы фотопериодической реакции у растений:  
 а – растение короткого дня; б – растение длинного дня; в – растение фотопериодически нейтральное

Позже в изучении фотопериодизма выявились некоторые трудности. Например, некоторые растения при одной температуре вели себя как нейтральные по отношению к длине дня, а при другой – зависели от нее. Для одних было необходимо, чтобы одна длина дня сменялась другой, а у иных определенная длина дня ускоряла наступление цветения, но не являлась обязательным условием.

Подобные недоразумения выяснились, когда было установлено, что на самом деле значение имеет продолжительность не светлого, а темного периода суток. Поэтому фактически растения короткого дня оказались растениями длинной ночи. Если их выращивать в условиях короткого дня и длинной ночи, но ночь прерывать коротким периодом освещения, они не зацветут.

В качестве примеров растений короткого дня можно привести хризантему, сою, табак, землянику. Растения длинного дня – белена, львиный зев, капуста, яровая пшеница, яровой ячмень. Растения, нейтральные в отношении фотопериода, – огурцы, томаты, садовый горошек, кукуруза, хлопчатник.

Фотопериод рассматривается как некое «реле времени», или пусковой механизм, включающий последовательность физиологических процессов, приводящих к линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих и наступления диапаузы (стадии покоя) у насекомых.

Фотопериодизм связан с широко известным явлением биологических часов и служит универсальным механизмом регулирования функций во времени. *Биологические часы* – это способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами. Ритмы, задаваемые внутренними часами, или водителями ритма, называются эндогенными в



отличие от экзогенных, которые регулируются внешними факторами. Следует отметить, что большинство биологических ритмов смешанные, т. е. частично эндогенные и частично экзогенные.

Поведение многих насекомых, ведущих полностью наземный образ жизни, контролируется, по-видимому, эндогенными ритмами, связанными с чередованиями света и темноты. Например, плодовая мушка *Drosophila* выводится из куколки на рассвете, а тараканы становятся наиболее активными с наступлением темноты и перед рассветом. Эти регулярные биологические ритмы с периодом около 24 ч называются циркадными (от лат. *circa* — около, *dies* — день) или околосуточными ритмами.

Предполагают, что циркадные ритмы имеют многообразное адаптивное значение, специфическое для каждого вида и, в частности, связанное с ориентацией. Такие животные, как рыбы, черепахи, птицы и некоторые насекомые, мигрирующие на большие расстояния, используют в качестве компаса солнце и звезды. Другие животные (пчелы, муравьи и рачки-бокоплавы) ориентируются по солнцу в поисках пищи и при возвращении домой. Ориентация по солнцу и луне надежна только в том случае, если животное способно каким-то образом определять время, чтобы учитывать их суточные перемещения.

Результаты многочисленных исследований, проведенных на животных, подтверждают представление о том, что суточные ритмы контролируются какими-то эндогенными механизмами, которые связаны с биологическими часами.

Перелетные птицы в течение нескольких месяцев после осеннего перелета нечувствительны к фотопериоду. Видимо, короткие осенние дни необходимы для того, чтобы «перевести» биологические часы и подготовить эндокринную систему к реакции на длинные дни. Если после конца декабря искусственно увеличивать длину дня, то у птиц это вызовет череду явлений, обычно происходящих весной, — линьку, накопление жира, миграционное беспокойство.

Можно привести также пример с человеком, который попал в другое полушарие. У него изменяется представление о времени сна и бодрствования, но постепенно внешние факторы регулируют его биологические часы и он начинает подчиняться новому биологическому ритму.

Длина дня воспринимается чувствительными рецепторами, такими как глаза у животных или специальный пигмент в листьях растений, а эти рецепторы в свою очередь активируют один

Таблица 4. Растения-«часы»

Растение	Время раскрытия цветков, ч	Время закрытия цветков, ч
Козлобородник луговой ( <i>Tragopogon pratensis</i> )	3–5	10
Шиповник ( <i>Rosa majalis</i> )	4	19–20
Цикорий обыкновенный ( <i>Cichorium intybus</i> )	4–5	10
Осот полевой ( <i>Sonchus arvensis</i> )	5	11–12
Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale</i> )	5–6	14–15
Ястребинка зонтичная ( <i>Hieracium umbellatum</i> )	6	13
Ястребинка шершавоволосистая ( <i>Pilosella officinarum</i> )	6–7	17–18
Картофель ( <i>Solanum tuberosum</i> )	6–7	14–15
Лен обыкновенный ( <i>Linum usitatissimum</i> )	6–7	16–17
Кувшинка белая ( <i>Nymphaea alba</i> )	7	17–18
Фиалка трехцветная ( <i>Viola tricolor</i> )	7–8	18
Смолка обыкновенная ( <i>Viscaria vulgaris</i> )	9	20–21
Кислица обыкновенная ( <i>Oxalis acetosella</i> )	9–10	17–18
Мать-и-мачеха ( <i>Tussilago farfara</i> )	9–10	17–18
Любка двулистная ( <i>Platanthera bifolia</i> )	21	

или несколько цепных механизмов, включающих гормоны и ферменты, которые вызывают соответствующий физиологический или поведенческий ответ. Точно не известно, какой компонент этой последовательности измеряет время. Хотя высшие растения и животные резко различаются морфологически, связь с фотопериодичностью среды у них сходна.

Выдающийся шведский естествоиспытатель XVIII в. Карл Линней детально изучил ритм раскрытия бутонов у различных видов цветковых растений. Он даже написал труд «*Somnus plantarum*» («Сон растений»). Используя свои знания, он построил настоящие цветочные часы, которые были «запущены» в 20-х годах XVIII в. в шведском городе Упсала. Циферблат часов был разбит на ряд секторов, в каждом из которых высаживался строго определенный вид растений. Они подбирались по времени своего

распускания. «Ход» часов начинался с 3–5 часов утра, когда раскрывались соцветия козлобородника. В течение дня ботанические часы безошибочно показывали время: каждый час раскрывало свои цветки какое-нибудь одно растение. Другие же оставались в это время закрытыми. Подобные клумбы-часы стали впоследствии создавать и в других местах. Такие оригинальные часы были и в усадьбе имения Пушкиных в селе Михайловском. В таблице 4 приведено время распускания и закрытия цветков у некоторых видов растений нашей флоры.

## ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ

В процессе исторического развития животные и растения приобрели специфические черты, затрагивающие особенности строения, обмена веществ, динамику жизненных процессов и т. п. Все эти особенности определяют внешний облик организмов. В природе можно часто видеть, как разные виды приспосабливаются к сходным условиям среды. Такие типы приспособления выражаются в определенном морфологическом строении организмов и называются *жизненными формами*. Разнообразные типы строения отражают отношение различных видов к среде обитания.

Жизненные формы выделяются как среди животных, так и среди растений. У животных они поразительно разнообразны, поскольку, во-первых, животные в отличие от растений более динамически лабильны (растениям присущ главным образом оседлый способ существования) и, во-вторых, форма их существования непосредственно зависит от поиска, качества и способа добывания ими пищи. Животные обычно все время подвижны и активны в добывании пищи (исключение составляют отдельные животные водной среды, ведущие сидячий образ жизни).

Один из крупнейших современных экологов Д. Н. Кашкаров так определяет жизненную форму животных: «Тип животного, находящийся в полной гармонии с окружающими условиями, мы называем жизненной формой. В жизненной форме, как в зеркале, отражаются главнейшие, доминирующие черты места обитания».

Итак, на формирование жизненных форм животных основное влияние оказывает их образ жизни. В связи с этим предложено довольно большое количество систем жизненных форм живот-

ных. Их выделяют по способам передвижения (например, жизненная форма прыгунов представлена тушканчиками и кенгуру); по способам и месту размножения (живородящие, яйцекладущие, размножающиеся под землей, на поверхности земли и т.п.); иные жизненные формы систематизируются по способам питания (растительоядные, хищники, всеядные и т. д.).

Разнообразие классификаций жизненных форм животных объясняется множеством критериев и принципов, которые положены в основу классификации. У зоологов (а теперь и у экологов) наибольшее распространение получила система жизненных форм Д. Н. Кашкарова. Всех животных он разделил на следующие группы:

I. Плавающие формы:

1. Чисто водные
2. Полуводные

II. Роющие формы:

1. Абсолютные землерои
2. Относительные землерои

III. Наземные формы:

1. Не делающие нор
2. Делающие норы
3. Животные скал

IV. Древесные лазающие формы

V. Воздушные формы.

Значительно более унифицирована система жизненных форм растений. Кстати, сам термин «жизненная форма» и его определение были введены в экологию именно при исследовании растительности. Это сделал датский ботаник Йоханнес Варминг в 1884 г. Он определял жизненную форму как форму, в которой вегетативное тело растения находится в гармонии с внешней средой в течение всей жизни.

Начало изучению жизненных форм положил немецкий естествоиспытатель Александр Гумбольдт. Он предложил выделять те жизненные формы, которые характеризуют физиономичность ландшафта: деревья, кустарники, травы, лианы и т. д. Так, в качестве особых он выделял формы кактусов, составляющих облик пейзажа в Мексике, хвойных, определяющих вид тайги, бананов, пальм, злаков.

Затем жизненные формы начали классифицировать по экологическим признакам. Наиболее широко распространена система жизненных форм, разработанная еще одним датским экологом и геоботаником Кристен Раункиером в 1905 г. Она основана на положении почек возобновления (или верхушек побегов) по отношению к поверхности почвы в неблагоприятных условиях (зимой или в засушливый период). Все растения были подразделены Раункиером на 5 главных типов (рис. 16)



Кристен Раункиер  
(1860–1938)

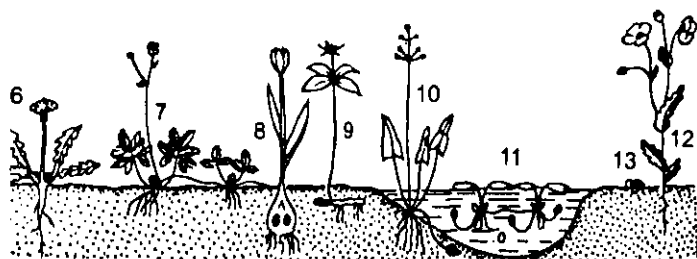
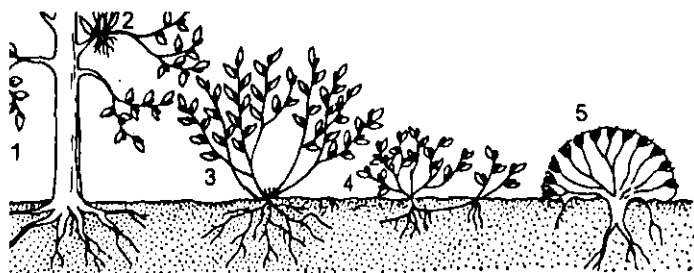
1. **Фанерофиты** (от греч. *phaneros* – видимый, открытый, явный) – почки возобновления находятся высоко над поверхностью почвы. Это деревья, кустарники, деревянистые лианы.

2. **Хамефиты** (от греч. *chamai* – на земле) – почки возобновления находятся невысоко (20–25 см) над поверхностью почвы и, как правило, зимой защищены снежным покровом. Сюда относятся кустарники, кустарнички, полукустарнички, некоторые многолетние травы (например, черника, седмичник), мхи.

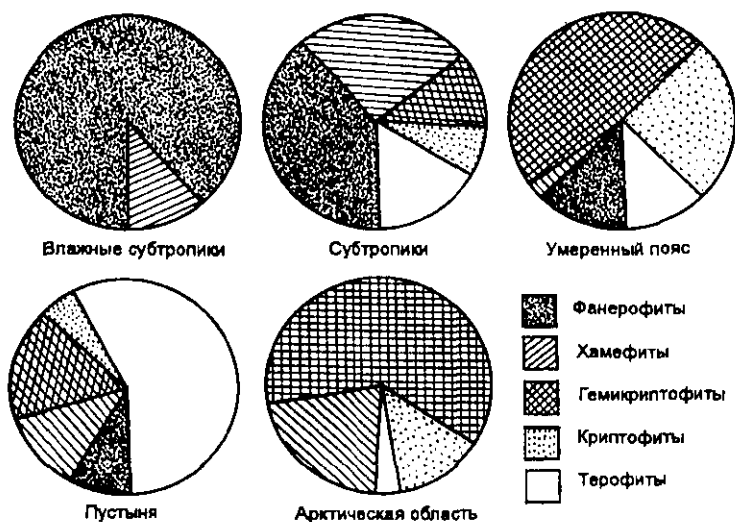
3. **Гемикриптофиты** (от греч. *hemi* – полу... и *cryptos* – скрытый) – почки возобновления в неблагоприятный для вегетации период года находятся на уровне почвы. Они защищены чешуями, опавшими листьями и снежным покровом. Это в основном многолетние травянистые растения средних широт: лютики, одуванчик, крапива двудомная.

4. **Криптофиты** (от греч. *kryptos* – скрытый) – почки возобновления закладываются в виде луковиц, клубней, корневищ на некоторой глубине в почве (*геофиты*) либо под водой (*гидрофиты*).

5. **Терофиты** (от греч. *theros* – лето) – главным образом однолетники, переживающие неблагоприятный период года в виде семян. В умеренной зоне к этой группе относятся в основном сорняки.



**Рис. 16.** Жизненные формы растений по Раункиеру:  
1-3 – фанерофиты; 4, 5 – хамефиты; 6, 7 – гемикриптофиты; 8-11 – криптофиты;  
12 – терофит; 13 – семя с зародышем



**Рис. 17.** Соотношение участия жизненных форм растений в местностях, расположенных в разных областях земного шара (по системе Раункиера)

Таблица 5. Спектры жизненных форм (по Уиттекеру)

Тип спектра	Фанеро-фиты	Хаме-фиты	Гемикриптофиты	Гео-фиты	Теро-фиты
Глобальный, или нормальный, спектр	46*	9	26	6	13
Широтные серии (влажные климаты)					
Тропический дождевой лес	96	2	—	2	—
Субтропический лес	65	17	2	5	10
Лес умеренно теплой зоны	54	9	24	9	4
Лес умеренно холодной зоны	10	17	54	12	7
Тундра	1	22	60	15	2
Серии влажности (умеренные широты)					
Мезофитный лес среднеумеренной зоны	34	8	33	23	2
Дубовое редколесье	30	23	36	5	6
Сухой злаковник	1	12	63	10	14
Полупустыня	—	59	14	—	27
Пустыня	—	4	17	6	73

\* — процент от общего числа изученных видов

Распределение жизненных форм растений, характерное для определенного географического региона, выраженное в процентах, называется *спектром жизненных форм* (табл. 5). Анализ глобальных данных о всех сосудистых растениях мира позволил получить так называемый глобальный, или нормальный, спектр. Спектры для отдельных регионов земного шара отражают воздействия факторов среды на характер адаптации растений в сообществах (рис. 17).

Таким образом, хорошо видно, что зона тропического дождевого леса, — это зона фанерофитов, в умеренной зоне господствуют гемикриптофиты, а в пустыне — терофиты.

Следует отметить, что понятие жизненной формы следует отличать от понятия *экологической группы организмов*. Жизненная форма отражает весь спектр экологических факторов, к которым приспосабливается тот или иной организм, и характеризует специфику определенного местообитания. Экологическая же группа обычно узко специализирована в отношении отдельного фактора среды: света, влаги, тепла и т. д. (уже упоминавшиеся нами гигрофиты, мезофиты, ксерофиты — группы растений по отношению к влажности; олиготрофы, мезотрофы, эвтрофы — группы организмов по отношению к трофности, плодородию почв и т. п.).

Изучение многообразия жизненных форм позволяет глубже познать структуру и динамику сообщества, а также дать экологическую оценку местообитанию. Жизненные формы, преобладающие в сообществе, могут служить довольно точными индикаторами условия местообитания.

## Глава 3

# ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

История развития экологии наглядно показывает, что начиная с начала XX в. центр внимания в экологических исследованиях постепенно смещался с отдельных организмов на группы совместно обитающих особей того или иного вида. Такая совокупность особей одного вида, обитающая длительное время на определенной территории, носит название *популяции*. Термин «популяция» получил распространение в первой трети XX в., хотя корни этого понятия обнаруживаются еще в древних литературных источниках. Уже в трудах Аристотеля можно найти указания на связи между организмами, сожительства животных и формы группировок. Он выделял группы животных кочевых и оседлых, ведущих одиночный и групповой образ жизни. «Отец ботаники» Теофраст описывал естественные сообщества растений как совокупность видов, приуроченных к определенным ландшафтам. Не останавливаясь на истории развития понятия популяции, отметим, что этот термин укоренился в экологии довольно медленно, и до 1930 г. (выход в свет книги К. Фридерикса, переведенной на русский язык в 1932 г. под названием «Экологические основы прикладной зоологии и энтомологии») в научной литературе почти не применялся. До этого времени представление о популяции как особом явлении органического мира отсутствовало. Уточнение понятия «популяция» связано с бурным развитием в XX в. таких биологических наук, как генетика и экология.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИИ

Множество биологов посвятило себя изучению тех или иных популяций животных, растений, микроорганизмов. Каждый из них хорошо знал, что он понимает под словом «популяция», но само определение популяции у многих исследователей различно. Связано это прежде всего и главным образом с теми задачами, которые каждый исследователь ставил перед собой. Можно изу-



чать популяцию колорадского жука, населяющего отдельный лист картофеля. Если исследовать совокупность всех колорадских жуков на кусте картофеля в целом, то понятие популяции будет уже иным, так же как при анализе этих насекомых на всем картофельном поле.

Представление о популяции микробиолога, изучающего бактерии, может отличаться от того, что вкладывает в это понятие ботаник, исследующий луговую или лесную растительность, или зоолог, изучающий естественные группировки львов, миграцию птиц или колонии прикрепленных животных океана. Нередко экологи вообще не задумываются над определением популяции, а пользуются этим термином для обозначения любой совокупности особей одного вида, населяющих какую-то более или менее однородную территорию или содержащихся в лабораторных условиях. Например, для генетиков обитающая в пробирке общность мушек дрозофил будет являться такой же популяцией, что и штаммы различных бактерий в чашках Петри у микробиологов. И тем не менее, несмотря на разночтения, определению понятия популяции и ее основных свойств должно быть уделено пристальное внимание.

В наиболее общем виде популяцию можно определить как группу организмов одного определенного вида, обитающих совместно на отдельной территории и обладающих общими свойствами. Исходя из такого определения популяцией можно называть всех дроздов, живущих в каком-то лесном массиве, всех дафний, населяющих отдельный пруд или лужу, всех мучных жуков, живущих в одной банке. К общим свойствам, объединяющим все эти организмы в особую систему, прежде всего следует отнести свойство общего родства (конкретнее, генетическое родство организмов, составляющих популяцию) и обитание видов в сходных условиях (рис. 18).

Для генетиков такого определения популяции как любой группы организмов одного вида на определенной территории уже недостаточно. Ведь в этом случае популяция — это и колония мышей в клетке, и видовое население целых ландшафтных зон, например белки в Евразии. Поэтому вместе с развитием понятия популяции экологи все в большей мере учитывают определенную внутреннюю структуру популяции, ее гетерогенность, несхожесть особей одного вида. Популяция предстала как сложное эволюционное образование со своей внутренней структурой и определенными законами организации и функционирования.

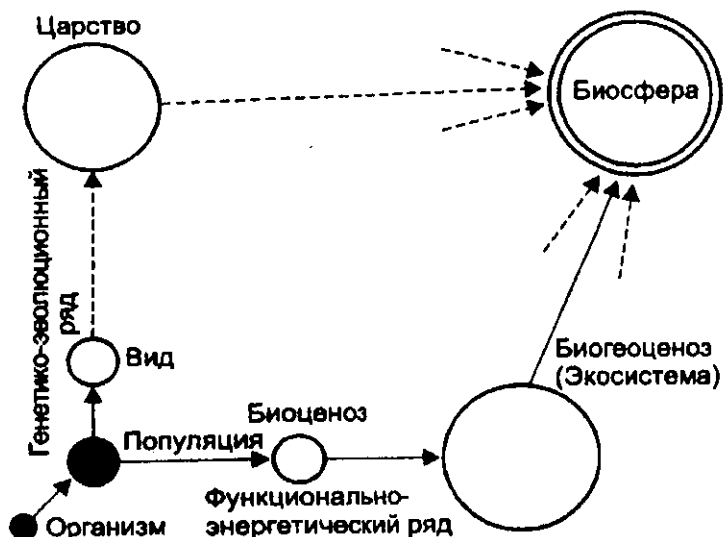


Рис. 18. Положение популяции в структуре биологических систем биосферы (И. А. Шварц, 1988)

Эколога, изучающего отдельные популяции, не устраивает то упрощенное определение, которое удовлетворяло бы эколога, специализирующегося на изучении экосистем. Во-первых, нередко случаи, когда в течение своей жизни особи какого-либо вида переходят из одной экосистемы в другую (например, у стрекоз личинки развиваются в воде). Во-вторых, возможны ситуации, когда на большой территории, занятой одной экосистемой, обитают несколько генетически изолированных популяций, каждая из которых может иметь свои экологические особенности. Поэтому при изучении отдельных популяций необходимо пристально следить за всеми жизненными стадиями изучаемого вида, независимо от того, в состав каких экосистем они входят.

Трудности в определении популяции связаны порой с тем, что в некоторых случаях на одной территории могут существовать независимые друг от друга (частично или полностью) группировки видов, образующие экологические формы. Такими формами могут быть, к примеру, сезонные фазы развития вида. Если степень изоляции таких группировок высокая и они совершенно независимы друг от друга, то такие сезонные фазы вполне обоснованно можно назвать отдельными популяциями.

В некоторых случаях эколог трактует изучаемую совокупность особей как популяцию, тогда как генетик выделяет в ее пределах группы особей, не родственных друг другу и не обменивающихся между собой генами. Так, среди дафний одного вида, населяющих небольшой пруд, генетики обнаружили несколько различных партеногенетически размножающихся семей. Эколог же при решении определенных задач этими генетическими различиями может пренебречь.

Среди множества видов живых организмов есть такие, которые в течение длительного времени держатся на одной территории, сохраняя более или менее постоянную численность. Другим видам свойственны сильные колебания численности, нередко сопровождаемые значительными изменениями площади занимаемой территории. Классическим примером могут служить некоторые саранчовые, образующие мигрирующую «стадную» фазу и дающие настоящие вспышки численности. Так, например, у обитающей в Африке красной саранчи в период образования «стадной» фазы область распространения увеличивается в тысячи раз по сравнению с той областью, где она живет постоянно. Так, в 1962 г. на юге Марокко саранча за пять дней уничтожила 7 тыс. т апельсинов (по 60 т в час). Это цифра превышает годовое потребление цитрусовых в такой стране, как Франция.

В 125 г. до н. э. саранча уничтожила все посевы пшеницы и ячменя в римских провинциях Киренаике и Нумидии (Северная Африка) и население этих стран – 800 тысяч человек! – умерло от голода.

Явления, когда стаи саранчи покрывают воздушное пространство на площади в 5–12 км<sup>2</sup>, совсем нередки. В такой стае насчитывается от 700 млн до 2 млрд насекомых, а общий их вес составляет около 3 тыс. т (2,5 т на гектар). Мало того, известны случаи, когда стаи саранчи сплошь затмевали небо на 250 км<sup>2</sup>. Приблизительные подсчеты показывают, что примерно 35 млрд насекомых, составляющих эту стаю, весят 50 тыс. т. Предполагается, что все насекомые в подобных чудовищных стаях весят, по видимому, лишь вчетверо меньше, чем все люди на планете! В это с трудом верится...

Такую вот стаю саранчи, улетевшую по ветру на тысячи километров от места своего постоянного обитания, эколог скорее посчитает популяцией, но генетики и эволюционисты остерегаются применять этот термин к подобным группировкам.

Несмотря на понятные теперь объективные затруднения в трактовке понятия популяции, общее определение этого термина существует. *Популяция* – это любая совокупность особей одного вида, способных обмениваться генетической информацией, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности и существующая неопределенно длительное время на данной территории.

## СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Любая популяция характеризуется рядом признаков, имеет определенную организацию и структуру. Такие признаки могут выражаться статистическими функциями, т.е. популяцию и ее свойства можно описать с использованием математического аппарата. Следует подчеркнуть, что между индивидуумом, отдельной особью и популяцией индивидуумов, особей существует принципиальная разница. Как капля воды не отражает свойства реки, озера, океана, так и вид организмов, взятый в отдельности, не может характеризовать всю популяцию в целом. Единственным носителем признаков популяции является группа, но не особи в этой группе. Отдельный организм в популяции рождается, живет, умирает, но экологов это интересует только как возможность посредством исследования поведения отдельного индивидуума познать свойства группы в целом. Особые свойства, присущие популяции, отражают состояние ее как группы организмов в целом, а не отдельных особей, т.е. свойство популяции как группы организмов не есть механическая сумма свойств каждого слагающего ее индивидуума.

Популяции присущи как пространственные (статические), так и временные (динамические) характеристики. К пространственным характеристикам относятся общая численность, плотность, пространственное распределение (дисперсия), а также различные характеристики популяционной структуры – возрастной состав, соотношение полов. Они характеризуют состояние популяции в какой-то определенный момент времени  $t$ . Из временных (динамических) характеристик отметим рождаемость, смертность, скорость роста, кривую роста. Данные показатели характеризуют процессы, протекающие в популяции за некоторый промежуток времени  $\Delta t$ . Кроме этого, для популяции характерно наличие сложных взаимоотношений с окружающей ее средой.

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Наблюдая за свойствами различных популяций, будь то популяция животных или растений, можно видеть, что численность их бывает очень различной. Это может быть и сотня деревьев, встречающихся на гектаре соснового леса, и миллионы одноклеточных водорослей в экосистеме пруда или озера, и несколько грифов, живущих на недоступных скалах, и тучи скворцов над только что засеянным ржаным полем. Все эти популяции характеризуются прежде всего такими параметрами, как численность и плотность.

**Численность особей в популяции** — одна из важных характеристик при экологических исследованиях, особенно когда речь идет об исчезающих видах растений и животных. Здесь приходится решать вопрос о допустимых минимальных размерах популяции, при которых она способна к самовоспроизведению. Под численностью популяции понимается общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

Наиболее простым способом определения численности популяции является простой подсчет всех особей. Однако этот метод пригоден не для всех организмов. Чаще всего он используется при изучении популяций растений или оседлых, малоподвижных и крупных животных, образующих скопления на ограниченной территории. В этом случае все особи можно учесть визуально без особой погрешности. Так, дикие северные олени Кольского полуострова в конце зимы — начале весны скапливаются на небольших горных возвышенностях, где благодаря более тонкому снежному покрову могут докопаться до лишайников, служащих им в это время основным кормом. В этом случае можно провести довольно точный подсчет особей, слагающих популяцию.

В случае же с мигрирующими и кочующими животными практикуются другие оценки численности популяции. Для этого используется способ мечения или кольцевания. При отлове животных часть из них помечают (случайная выборка) и затем выпускают обратно, чтобы они смешались с остальными членами популяции. Через некоторое время производят повторный отлов, получают еще одну случайную выборку и устанавливают ту долю, которую составляют меченые особи от общего числа пойманных. Затем по величине этой доли устанавливают численность популяции.

Во многих случаях оценить непосредственно общую численность популяций, растений или микроорганизмов невозможно. В этом случае прибегают к закладке так называемых пробных учетных площадок (круглых или квадратных) или к отбору отдельных проб и дальнейшему подсчету числа особей в полученных выборках. Полученные таким образом данные позволяют оценить плотность популяции.

**Плотность популяции** определяется как количество особей вида на единицу площади (главным образом земной поверхности) или же на единицу объема (водная среда, экспериментальная культура). В некоторых случаях этот показатель оценивается числом встреч на маршруте движения животного (весенние учеты по пению самцов птиц, оценка популяций перелетных птиц, зимние учеты млекопитающих по следам на снегу и т. п.). Максимальная плотность для различных видов организмов и условий существования сильно варьирует. На одном гектаре земли может обитать значительно больше особей подорожников, чем, скажем, оленей или кабанов. Некоторые виды птиц (пингвины, чайки) образуют так называемые «птичьи базары». Нередки огромные скопления розовых фламинго на некоторых озерах экваториальной Африки. В то же время многие виды среднеевропейских лесных певчих птиц никогда не достигают и 1/10 такой плотности.

Различают *среднюю плотность*, т. е. количество особей на единицу всего пространства, и *экологическую плотность*, т. е. количество особей на единицу обитаемого пространства.

В чем различие между этими показателями можно понять из примера, приведенного Ю. Одумом для лесного аиста, обитающего в заповеднике во Флориде. «В этой местности плотность мелких рыб с падением уровня воды в течение сухого зимнего сезона в целом снижается, но экологическая плотность возрастает, так как по мере сокращения зеркала воды увеличивается число рыб, приходящихся на единицу водной поверхности. Аисты откладывают яйца в такое время, что вылупление птенцов приходится на период пика экологической плотности рыб. Это облегчает родителям ловлю рыбы, которая составляет основную пищу птенцов.»

Особи живых организмов (растения, животные, микроорганизмы) обычно распределены в пространстве неравномерно. Причины здесь могут быть самые различные: влияние изменяющихся факторов среды, внутри- и межвидовые взаимоотношения организмов, влияние человека и т. п. Именно поэтому при исследовании отдельных популяций эколог должен всегда иметь в ви-

ду, что репрезентативность выборки (соответствие показательно-сти наблюдения действительным характеристикам объекта в целом) зависит не только от размера и метода отбора проб, но и от того, как эти пробы размещаются в пространстве. Для этого необходимо знать закономерности пространственного распределения особей, составляющих популяции.

В общем виде можно выделить три типа распределения особей: случайное, регулярное (равномерное) и групповое (пятнистое, скученное, агрегированное).

*Случайное распределение* имеет место тогда, когда организмы распределяются в однородной среде. В этом случае сила и направление воздействия абиотических и биотических факторов случайно изменяются во времени и пространстве. Случайное распределение встречается в природе не очень часто, хотя само действие случайных природных факторов само по себе не редкость. Такое случайное распределение характерно, к примеру, для пауков, обитающих в лесной подстилке.

С данным типом размещения особей в популяции связана концепция «распределения риска» (*spreading of risk*), предложенная голландскими исследователями П. Буром и Я. Редингиусом. Она гласит, что численность любого вида в природе поддерживается на определенном уровне (точнее, в определенных границах) постольку, поскольку риск гибели особей от каких-либо неблагоприятных факторов случайно распределен во времени и пространстве. Таким образом, механизм воздействия на популяцию неблагоприятных факторов среды обусловлен случайными процессами. Поэтому популяция, даже если какая-либо ее часть погибнет в результате катастрофического воздействия, не уничтожится, потому что такие катастрофы не происходят сразу во всех или многих местах.

*Групповое (пятнистое)* распределение свойственно многим организмам, обитающим не только в наземных, но и в водных экосистемах. Это наиболее распространенный тип распределения особей в природных популяциях. Размещение особей группами обусловлено прежде всего микрокомплексностью среды и мозаичностью экологических условий («пятнистость среды»).

Примеров такого распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с место на место многие рыбы. В большие стаи собираются водоплавающие птицы, готовящиеся к дальним перелетам. Колонии бакланов, гнездящихся на островах возле побережья Перу, достигают численности

10 000 особей при средней плотности три гнезда на 1 м<sup>2</sup>. Североамериканские северные олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженных могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя по пути всех, кто замешкался или не в силах спастись бегством.

Такие же примеры можно привести и для растений: пятнистое размещение растений клевера на лугу, пятна мхов и лишайников в тундре, скопление кустарничков брусники в сосновом лесу, обширные пятна кислицы в еловом лесу, земляничные поляны на светлых лесных опушках и т. п.

Групповое размещение организмов является своеобразным приспособительным фактором в жизни и функционировании популяций отдельных видов. К примеру, у насекомых, образующих большие группы, повышается активность, у особей происходят гормональные изменения, ускоряющие их половое созревание и повышающие плодовитость. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость. Так называемый «эффект группы» даже с учетом частных неблагоприятных отклонений способствует процветанию, выживаемости и устойчивости группы организмов в целом.

Регулярное (равномерное) распределение может наблюдаться при сильном антагонизме особей (конкуренции), когда вероятность нахождения одной особи рядом с другой крайне мала. В природе такой тип распределения выражен в меньшей степени, чем первые два. Чаще всего при иллюстрации такого типа распределения ссылаются на размещение деревьев в лесу, где конкуренция за свет настолько высока, что они отстоят друг от друга на более или менее равномерном расстоянии. В мире животных некоторую регулярность в распределении можно зарегистрировать у личинок усоногих ракообразных *Balanus balanoides*, избегающих селиться около особей своего вида. Такой тип распределения встречается и у животных, которым свойственна так называемая территориальность — охрана территории от вторжения особей других видов (хищники часто «метят» свою территорию для защиты от конкурентов). Некоторые тропические птицы, питающиеся нектаром, защищают свою территорию от посягательства на их корм со стороны других видов.

Регулярное распределение, нечасто встречающееся в природе, может быть искусственно создано человеком. Достаточно привести примеры рассадки фруктовых деревьев в садах, посадку саженцев сосны или дуба при лесовосстановлении, посев зерновых культур на полях либо овощных растений в садах.



## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ

Естественные популяции это не раз и навсегда застывшая совокупность особей, а динамическое единство находящихся во взаимоотношениях организмов. По образному выражению А. М. Гилярова, популяцию можно сравнить не с «музейной коллекцией, а с оживленным аэропортом, куда постоянно одни люди прибывают и откуда другие убывают, где вдруг может скопиться много народа из-за нелетной погоды... и где число людей может уменьшиться, если улучшится погода и (или) деятельность аэропортных служб».

Динамические характеристики популяций отражают временные процессы, протекающие в них с определенной скоростью. Динамика популяций в упрощенном варианте может быть описана такими показателями, как рождаемость и смертность. Это наиболее важные популяционные характеристики, на основании анализа которых можно судить об устойчивости и перспективном развитии популяции.

Рождаемость определяется как число особей, рожденных в популяции  $\Delta N$ , за некоторый промежуток времени (час, день, месяц, год)  $\Delta t$ . При этом термин «рождаемость» характеризует появление особей любых видов независимо от способов появления их на свет: будь это проращение семян подорожника или овса, появление детенышей из яиц у курицы или черепахи, рождение потомства у слона, кита либо человека.

Экологи различают *максимальную рождаемость* в условиях отсутствия лимитирующих экологических факторов (добиться этого практически весьма сложно, если вообще невозможно). Это теоретический максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях. Размножение организмов сдерживается только их физиологическими особенностями. Например, теоретическая скорость размножения различных видов во многих случаях может быть довольно высокой. Если мы примем за основу такой показатель, как время захвата видом всей поверхности Земли, то для бактерии холеры *Vibrio cholerae* он будет составлять 1,25 суток, для диатомовой водоросли *Nitzschia putrida* – 16,8, для домашней мухи *Musca domestica* – 366, для курицы – около 6000, для слона – 376000 суток. Максимальная рождаемость постоянна для данной популяции.

В отличие от максимальной *экологическая, или реализованная, рождаемость* (или просто рождаемость) характеризует

прирост или увеличение численности популяции при фактических или специфических условиях среды.

Реализованная рождаемость – величина переменная, она зависит от параметров популяции и специфических физических условий среды. Обычно рождаемость выражают числом особей, родившихся за некоторый промежуток времени.

Число особей, родившихся за определенное время, называется абсолютной или общей рождаемостью. Она выражается величиной  $\Delta N_n / \Delta t$ .

Удельная рождаемость определяется числом особей, родившихся за определенное время, на одну особь в популяции:  $\Delta N_n / N \Delta t$ .

Единица времени может быть различной в зависимости от темпов и скорости размножения организма. Для бактерий это может быть час, для насекомых – сутки или месяц, для большинства млекопитающих этот процесс растягивается на месяцы. Предположим, что в городе с населением 100 000 человек появилось 8000 новорожденных. Абсолютная рождаемость составит 8000 человек в год, а удельная – 0,08, или 8 %.

Различие между абсолютной и удельной рождаемостью легко проиллюстрировать на примере. Популяция из 20 простейших в некотором объеме воды увеличивается путем деления. Через час ее численность возросла до 100 особей. Абсолютная рождаемость при этом составит 80 особей в час, а удельная рождаемость (средняя скорость изменения численности на особь в популяции) – 4 особи в час при 20 исходных.

Смертность – величина, обратная рождаемости. Это число погибших в популяции особей за единицу времени:  $\Delta N_m / \Delta t$ . Подобно рождаемости, смертность можно выразить числом особей, погибших за данный период (число смертей в единицу времени), или же в виде удельной смертности для всей популяции или ее части. При определении смертности популяции учитываются все погибшие особи независимо от причины смерти (умерли ли они от старости или погибли в когтях хищника, отравились ли ядохимикатами или замерзли от холода и т. д.).

Для анализа роста численности популяции обычно пользуются данными, отражающими величину смертности. Для этого составляют так называемые таблицы и кривые выживаемости – определяют, как смертность распределяется по возрастам.

Известно, что в природе редкий вид доживает до максимального возраста, поэтому величина максимальной продолжительности жиз-

ни не представляет большого интереса для эколога. Ее учитывают только как точку отсчета при популяционных исследованиях.

Максимальная продолжительность жизни у разных организмов различна. На этот счет можно привести довольно большое количество фактов длительности существования особей. Особенно высокая продолжительность жизни отмечена у растений, в частности среди древесных пород. В 1951 г. в Калифорнии, в пустыненном районе Белых гор, где выпадает всего 250 мм осадков в год, на высоте 3000 м обнаружили рощу из конусообразных деревьев высотой около 10 м — остистых сосен. Ученые определили, что возраст 17 деревьев превышал 4000 лет, а некоторые дожили до 4600–4800 лет. Чемпионом долголетия можно считать секвойюдендрон гигантскую, или мамонтово дерево (*Sequoiadendron giganteum*). Леса из нее произрастают на юго-западе горного хребта Сьерра-Невада в Калифорнии. Возраст этих деревьев высотой до 85 м оценивается в 3000–5000 лет.

У животных при большом варьировании продолжительности жизни можно отметить организмы, превышающие по этому показателю другие виды. Считается, что наиболее высокой продолжительностью жизни отличается гигантская слоновая черепаха из Индийского океана. Она может жить 200–300 лет. Большим долголетием отличаются крокодилы (до 300 лет) и отдельные виды рыб: щука, белуга (до 100 лет). Из крупных хищников дольше всех живут медведи (50 лет), львы (30 лет), леопарды, рыси и барсы (15–20 лет). Среди птиц пальма первенства принадлежит лебедям (150–170 лет), на втором месте попугаи (120–140 лет).

Установить общую закономерность при определении возраста организмов нелегко. Отмечено только, что низкоорганизованные древние животные — пресмыкающиеся и рыбы живут дольше более молодых в филогенетическом отношении млекопитающих. Человек и человекообразные обезьяны, например, в среднем живут 60–70 лет, гиббоны и капуцины 20–25 лет, мартышки и макаки — 10–12 лет.

## РЕГУЛЯЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ

Численность любой популяции определяется ее способностью к размножению. Потенциально многие виды способны очень сильно увеличивать свою численность. Например, рыба-луна выметывает до 300 млн икринок, обитающие в эстуариях рек американские устрицы способны отложить более ста миллионов

яиц каждая. А вот некоторые птицы и звери довольствуются одним-единственным ребенком в год. Иногда приводят и такие занимательные факты. Одно растение одуванчика в год дает до 3 тыс. семян. Если бы все его потомство выжило, то через десять поколений одуванчик покрыл бы площадь, превышающую земную сушу в пятнадцать раз.

Однако наблюдения показывают, что численность большинства видов постоянна, следовательно, между рождаемостью и смертностью существует относительное равновесие. Такую согласованность рождаемости и смертности в популяции называют **регуляцией численности популяции**.

Природа не терпит расточительства, и потому детенышей не должно быть больше, чем родители могут выкормить. Именно поэтому птицы одних и тех же видов, поселившиеся высоко в горах, в отличие от своих собратьев, обитающих в теплых и богатых кормом долинах, обычно откладывают меньше яиц.

Обычно численность особей в популяции ограничивается каким-либо ресурсом. Одним из основных лимитирующих факторов является пища. Иногда природа поступает очень жестоко по отношению к своим отпрыскам. Одним из примеров такой жестокости служит жизненный цикл полярной совы. Она обычно откладывает 5–6 яиц с большими временными интервалами. Птенцы появляются на свет, соблюдая очередность. Старший птенец уже крепко стоит на ногах, а младший его брат еще в яйце. На первый взгляд, странное положение вещей. Однако для суровых условий Севера это один из способов популяции поддерживать свою численность. Как известно, полярная погода неустойчива и ненастье может обрушиться внезапно. Для взрослых особей это неудобство легко преодолимо. Они могут перенести несколько дней без пищи, а вот для птенцов непогода может обернуться гибелью. Поэтому старший соенок, чтобы выжить, вынужден съесть своего младшего ослабевшего собрата. Законы выживания суровы.

Существуют две теории, объясняющие регуляцию численности.

1. Смертность в популяции обусловлена только воздействием физических или биологических факторов (погода, пожар, загрязнение, хищники и т. п.) и затрагивает одну и ту же долю особей в популяции независимо от ее численности. Такие факторы, действие которых не зависит от численности популяции, называются *факторами, не зависящими от плотности*.

2. Смертность особей в популяции всегда зависит от численности последней. При этом чем больше численность, тем выше

риск гибели. В этом случае на популяцию влияют *факторы, зависящие от плотности*. При высокой численности популяции начинает ощущаться недостаток ресурсов, ограничивается доступность пищи, возрастает численность врагов, заполняются все доступные места для гнездования и т. д.

Данные точки зрения не являются крайними, и ни одну, ни другую из них нельзя принять целиком или отвергнуть. Задача исследователя заключается в том, чтобы выяснить, способны ли виды регулировать свою рождаемость, а если да, то при помощи какого механизма и при каких условиях. У одних видов наблюдается относительно постоянная численность, плотность других видов подвержена нерегулярным либо циклическим, как у зайца-беляка, колебаниям.

## ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ ПОПУЛЯЦИИ

Важной характеристикой при исследовании популяции является ее *возрастная структура*, влияющая как на рождаемость, так и на смертность. Рождаемость и смертность сильно варьируют в зависимости от пола и возраста организмов. Поэтому состояние популяции по прошествии определенного промежутка времени будет зависеть от ее нынешнего полового и возрастного состава.

Обычно возрастной состав популяции наглядно отражают так называемые *возрастные пирамиды*, представляющие собой гистограммы возрастного распределения населения. В возрастной структуре населения европейских стран глубокий след оставили две мировые войны, разразившиеся в XX ст. Эти два следа хорошо видны на приведенной возрастной пирамиде (верхнее сужение – последствие первой мировой войны, нижнее – результат второй мировой войны).

В большинстве популяций репродуктивная способность их членов изменяется с возрастом. В современной экологии при исследовании возрастного состава популяции выделяют три *экологические возрастные группы*: *пререпродуктивную*, *репродуктивную* и *пострепродуктивную*. Длительность этих возрастов по отношению к общей продолжительности жизни сильно варьирует у разных организмов.

Обычно в начальный период роста (пререпродуктивная стадия) организмы размножаться не способны. Длительность этого

периода у различных видов сильно варьирует — от нескольких минут у микроорганизмов до нескольких лет у человека, многих млекопитающих, деревьев. Пререпродуктивный период может продолжаться большую часть жизни, как, например, у поденок (личиночное развитие в воде занимает от года до нескольких лет) и 17-летней цикады (пререпродуктивная стадия достигает нескольких лет). Однако характерно, что репродуктивный период у этих видов очень короток (у поденок — несколько дней, у цикады — менее одного сезона), а пострепродуктивный период и вовсе отсутствует, как у многих других видов.

Иное положение наблюдается в популяциях человека, а также животных, которые содержатся в искусственно созданных условиях (комнатные, домашние животные, обитатели зоопарков). Особи в таких популяциях доживают до пострепродуктивного периода. У современного человека три эти «возраста» примерно одинаковы, на каждый из них приходится около трети жизни. У первобытных людей пострепродуктивный период был намного короче.

В настоящее время соотношение возрастных экологических групп в популяции людей меняется. Увеличивается число детей, подростков и пенсионеров, т.е. непроизводительных слоев населения. Доля детей до 15 лет в большинстве развивающихся стран увеличилась до 50 %, пожилых людей старше 65 лет — до 15 %. Такое изменение соотношения возрастных групп приводит к увеличению нагрузки на трудоспособную часть населения.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПОПУЛЯЦИЯМИ**

Виды, составляющие природные популяции, не существуют отдельно друг от друга, а обычно находятся во многообразных сложных взаимоотношениях. Поэтому ученые-экологи редко изучают популяционную динамику только одного вида и всегда уделяют много внимания взаимодействиям популяций разных видов.

Разные экологи выделяют неодинаковое количество основных типов взаимодействий между популяциями. Так, в классической сводке Ю. Одума (1986) их девять, М. Бигон, Дж. Харпер и К. Таунсенд рассматривают пять основных типов взаимодействий, многие акцентируют внимание главным образом на конкурентных отношениях.

На наш взгляд, есть смысл привести более развернутую схему взаимодействий между популяциями двух видов, как это представлено у Ю. Одума:

- *нейтрализм* – ассоциация двух популяций не сказывается ни на одной из них;
- *взаимное конкурентное подавление* – обе популяции подавляют друг друга;
- *конкуренция за общий ресурс* – каждая популяция косвенно отрицательно воздействует на другую в борьбе за дефицитный ресурс;
- *аменсализм* – одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния;
- *паразитизм* – одна популяция использует другую в качестве среды обитания или источника пищи;
- *хищничество* – одна популяция неблагоприятно воздействует на другую, нападая непосредственно на нее, но тем не менее сама зависит от объекта нападения;
- *комменсализм* – одна популяция извлекает пользу от объединения, а для другой это объединение безразлично;
- *протокооперация* – обе популяции получают от ассоциации выгоду, но эти отношения необязательны;
- *мутуализм* – связь популяций благоприятна для роста и выживания обеих, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой.

Конечно, не все эти взаимоотношения равноценны в экологическом отношении: одни из них встречаются реже, другие необязательны, третьи, такие как конкуренция, являются главным механизмом возникновения экологического разнообразия.

Понятие *конкуренция* означает такое взаимодействие организмов, которое проявляется как взаимное угнетение между ними, вызванное сходными потребностями в ограниченном ресурсе, доступность которого уменьшается при росте численности конкурирующих организмов. Взаимодействие такого типа приводит к снижению выживаемости конкурирующих особей. Следует отметить, что конкуренция может проявляться и тогда, когда какого-либо ресурса достаточно, но его доступность снижается из-за активного противодействия особей.

Организмы, которые потенциально могут использовать одни и те же ресурсы, называются *конкурентами*. Если конкуренты принадлежат к одному виду, то взаимоотношения между ними называют *внутривидовой конкуренцией*. Если же они относятся к разным ви-

дам, то это *межвидовая конкуренция*. Объектом конкуренции может быть любой ресурс, запасы которого в данной среде недостаточны. Это может быть ограниченная территория распространения, пища, участок для гнезда, место для произрастания семян.

Конкуренция может быть непосредственной, например схватка за пищу, борьба за гнездовую территорию. Такой тип конкуренции носит название *прямой* или *интерференционной конкуренции*. В природе такая конкуренция особенно распространена среди прикрепленных животных и растений, населяющих скалистые берега. Однако в большинстве случаев конкурентная борьба внешне протекает совсем бескровно. Например, на многих хищных животных, конкурирующих за пищу, другие хищники влияют не прямо, а опосредованно, через уменьшение пищи. То же происходит в мире растений, где при конкуренции одни из них влияют на других опосредованно через перехват питательных веществ, солнца или влаги. Этот тип конкуренции носит название *косвенной* или *эксплуатационной конкуренции*.

Исследования причин и следствий межвидовой конкуренции привели экологов к установлению особых закономерностей в функционировании отдельных популяций. Некоторые такие закономерности были возведены в ранг законов.

Исследуя рост и конкурентные взаимоотношения двух видов реснитчатых инфузорий, советский биолог Г. Ф. Гаузе провел на них ряд экспериментов, результаты которых опубликовал в 1934 г. Инфузории двух видов *Paramecium caudatum* и *Paramecium aurelia* хорошо росли в монокультуре. Пищей им служили бактериальные или дрожжевые клетки, растущие на регулярно добавляемой овсяной муке. Когда Гаузе помещал оба вида в один сосуд, каждый вид сначала быстро увеличивал свою численность, но со временем *P. aurelia* начинала расти за счет *P. caudatum*, пока второй вид полностью не исчезал из культуры (рис. 19). Этот период исчезновения одного из видов инфузорий длился около 20 дней.

Таким образом Г. Ф. Гаузе сформулировал *закон конкурентного исключения* (принцип конкурентного исключения), который гласит: *два вида не могут существовать в одном местообитании (в одной и той же местности), если их экологические потребности идентичны*. Поэтому любые два вида с идентичными экологическими потребностями обычно бывают разобщены в пространстве или во времени: они живут в разных биотопах, в разных ярусах леса, обитают на разных глубинах в одном водоеме и т. д.



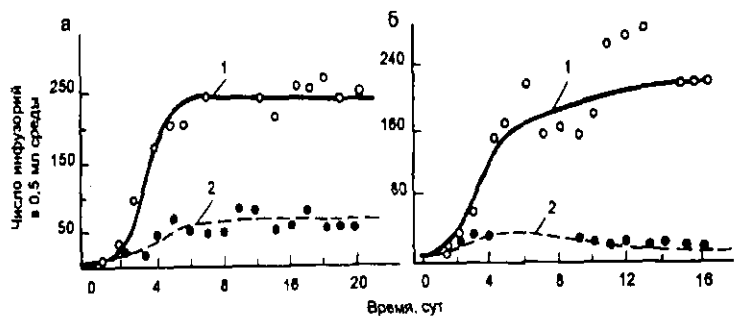


Рис. 19. Динамика популяций инфузорий *Paramecium aurelia* (1) и *Paramecium caudatum* (2), культивируемых при регулярном добавлении в среду одного и того же количества пищи:

а — изолированные популяции каждого вида; б — совместно культивируемые популяции

В качестве примера конкурентного исключения можно привести изменение численности плотвы (*Rutilus rutilus*), красноперки (*Scardinius erythrophthalmus*) и окуня (*Perca fluviatilis*) при их совместном проживании в озерах (Burrough, Bregazzi, Kennedy, 1979). Плотва с течением времени вытесняет красноперку и окуня. Исследования показали, что конкуренция сказывается на стадии мальков, когда кормовые спектры молоди перекрываются. В это время мальки плотвы оказываются более конкурентоспособными.

В природе часто конкурирующие за пищу или пространство виды разделяются во времени. Происходит деление животных на дневные и ночные (ястребы и совы, ласточки и летучие мыши, кузнечики и сверчки, различные виды рыб, проявляющие активность в разное время суток).

Закон Гаузе оказал существенное влияние на формирование экологической мысли первой половины XX в. В частности, он стимулировал интерес к разработке концепции экологической ниши. Понятие экологической ниши было введено американским зоологом-натуралистом Дж. Гриннеллом (1914) и английским экологом Ч. Элтоном (1927). Гриннелл термином «ниша» определял самую мелкую единицу распространения вида. Элтон описывал нишу как место данного организма в биотической среде, его положение в цепях питания.

Классическое определение экологической ниши дал американский эколог Дж. Ивлин Хатчинсон. Согласно сформулированной им концепции экологическая ниша представляет собой

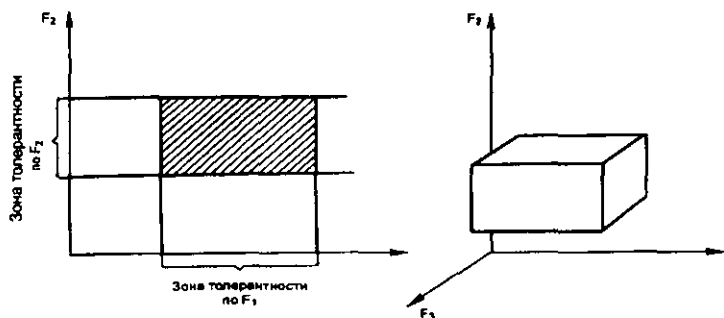


Рис. 20. Модель экологической ниши по Хатчинсону  
(по осям — отдельные факторы)

часть воображаемого многомерного пространства (гиперобъема), отдельные измерения которого соответствуют факторам, необходимым для нормального существования вида. Экологическую нишу, определяемую только физиологическими особенностями организмов, Дж. Хатчинсон назвал фундаментальной, а ту, в пределах которой вид реально встречается в природе, — реализованной.

Экологическую нишу можно также определить как место вида в природе, включающее не только положение вида в пространстве, но и функциональную роль его в сообществе (например, трофический статус) и его положение относительно абиотических условий существования (температуры, влажности и т.п.). Итак, *экологическая ниша — это совокупность факторов среды, в которых обитает тот или иной вид организмов, его место в природе* (рис. 20).

Важным видом взаимоотношений между организмами в природе являются отношения типа хищник–жертва. Потенциально каждый живой организм является источником энергии, т. е. пищей для других организмов. Именно такие пищевые взаимодействия лежат в основе переноса энергии и вещества в экосистемах.

*Хищником* считается всякий организм, потребляющий в качестве пищи другой живой организм. Если одно животное (реже растение) ловит, убивает и поедает другое животное, мы имеем дело с хищничеством. Таким образом, для установление факта хищничества необходимо наличие умерщвления одним организмом другого с целью использования его в виде пищи.

Диапазон отношений типа хищник–жертва довольно широк. Видимо, эти отношения существуют в природе настолько долго,

насколько долго существует сама жизнь. Эволюцию хищника нельзя оторвать от эволюции жертвы и наоборот. Соучастники этих взаимоотношений не могут отстать в эволюции один от другого, потому что это чревато вымиранием как хищника, так и жертвы. Хищники, эволюционируя, вырабатывали множественные уловки, чтобы воздействовать на жертву. Жертва, в свою очередь, не оставалась в долгу и развивала специфические средства защиты. Все эти ухищрения необходимы и тому, и другому для поддержания процесса прогрессивной эволюции. Разнообразие приемов нападения у хищников и средств защиты у жертв приводит к тому, что добывание пищи и бегство от хищников представляют собой два основных вида активности организмов, приводящих к формированию их особых признаков, которые в перспективе естественный отбор закрепляет как положительные реакции вида.

В целом эволюция жертвы протекает в направлении трудноуловимости и трудноусвояемости для хищников. Хищники же эволюционируют в сторону повышения эффективности охоты и усвояемости своей жертвы.

Хищники – важное звено в пищевой цепи экосистемы. Наличие их способствует направлению естественного отбора травоядных животных, обеспечивает раннее развитие копытных (некоторые виды антилоп уже спустя 5 мин после рождения вполне самостоятельно передвигаются). В первую очередь хищники уничтожают слабых и больных животных, что особенно важно для малочисленных популяций, находящихся на грани выживания. Человек оказывает регулярное воздействие на хищников путем прямого отстрела и опосредованно. Например, путем выжигания саванн уменьшается численность антилоп, что, в свою очередь, вызывает уменьшение числа хищников.

Хищниками могут быть различные организмы – от простейших до сложноорганизованных. Это львы и волки, пожирающие свою жертву, кровососущие мошки и насекомоядные птицы, это различные виды рыб, поедающие планктонных рачков дафний, и сами дафнии, питающиеся одноклеточными водорослями. Если хищник поедает растения, он называется растительноядным. При этом хищник не умервщляет жертву, а довольствуется лишь поеданием какой-либо ее части. Примером может служить колорадский жук *Leptinotarsa decemlineata*, питающийся культурным картофелем *Solanum tuberosum*. Всеядные хищники питаются как животной, так и растительной пищей.

Существует несколько классификаций хищников. Наиболее проста таксономическая классификация – деление на настоящих хищников (поедают животных) и растительноядных (питаются только растениями). Кроме того, среди всеядных можно различать хищников, питающихся животными ослабленными, больными и старыми, но оставляющими в неприкосновенности особи, способные к размножению. Такие действия хищников идут на пользу популяции, которая в результате выбраковки неполноценных особей избавляется от балласта. В то же время существуют хищники, питающиеся особями всех возрастных групп без разбора. Такой тип хищничества нарушает потенциал роста популяции жертвы и может повредить ей.

Можно привести следующую функциональную классификацию хищников:

- истинные хищники, убивающие свою жертву сразу после нападения на нее и в большинстве случаев поедающие жертву целиком. Это львы, орлы, божьи коровки, киты и многие другие;
- хищники с пастбищным типом питания. Это крупные травоядные млекопитающие – зебры, антилопы, козы, овцы, крупный рогатый скот. Как правило, они используют только часть своей жертвы;
- паразиты – хищники, также поедающие только часть жертвы, но нападающие в течение жизни только на одну особь или на очень малое их количество. Это различные ленточные черви, вирусы, ржавчинные грибы, тли;
- паразитоиды – насекомые, откладывающие яйца либо в тело других насекомых (на ранних стадиях развития последних), либо на его поверхность. Личинки паразитоидов, вылупившиеся из яиц, развиваются внутри или на теле хозяина, который обычно не достиг взрослого состояния. Паразитоид вызывает неизбежную гибель хозяина, так как по мере своего развития личинка паразитоида целиком съедает его. Бигон, Харпер и Таунсенд (1989) отмечают, что к паразитоидам относится около 25 % всех обитающих на Земле видов.

Американский биолог и естествоиспытатель Арнольд Ньюмен так описывает поведение паразитоида в своей книге «Легкие нашей планеты»: «Один из ярких примеров – паразитирующие в гусеницах бабочки осы-ихневмоны из семейства настоящих наездников (*Ichneumonidae*); они, словно ведьмы, рыщут по лесу в поисках гусениц, а найдя, набрасываются на них и откладывают

им в тело одно или несколько яиц. Последняя операция происходит незаметно для жертвы – ничего не подозревающая гусеница продолжает заниматься своими делами. Вскоре из каждого яйца выводится около тридцати личинок, которые начинают питаться внутренними органами гусеницы... С искусностью хирурга они выедают внутренности жертвы, оставляя жизненно важные органы «на десерт». Достигнув определенной стадии развития, личинки проедают себе путь сквозь кожу гусеницы и образуют коконы на спине и по бокам жертвы. Через несколько дней они вылезают из коконов и покидают гусеницу, оставляя ее в плачевном состоянии. Беднягу, как нетрудно догадаться, ждет смерть».

Исследуя динамику популяций хищника и жертвы, экологи установили, что в природе колебания их численностей в некоторых случаях можно представить в виде взаимосвязанных циклов. Классический пример – колебание численности американского зайца-беляка (*Lepus americanus*) в бореальных лесах Канады, которое соответствует колебанию численности ряда хищников, таких как рысь (*Lynx canadensis*). Раз в 9–10 лет наблюдается подъем и спад численности зайца и соответственно рыси. Когда численность популяции зайца достигает максимума, также увеличивается вследствие изобилия добычи численность популяции рыси. Как только численность зайца падает из-за перенаселенности, болезней либо недостатка корма, гибнет от голода и рысь. Затем при избытке пищи и малом количестве хищников зайцы снова начинают размножаться. Таким образом, периодические колебания численности зайца-беляка вызывают похожие изменения численности рыси, причем хищники следуют за колебаниями численности зайца, а не вызывают их (рис. 21).

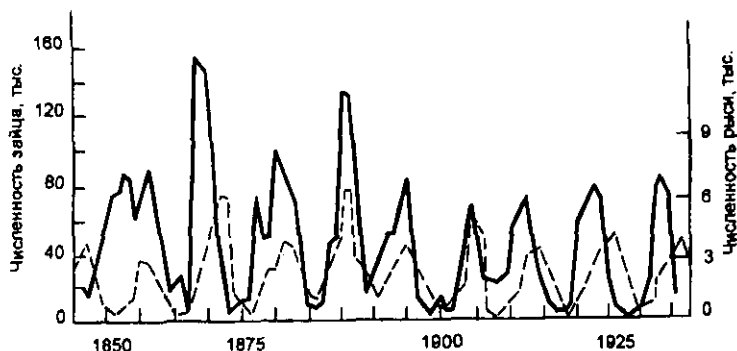


Рис. 21. Циклические колебания численности зайца-беляка (сплошная линия) и рыси (пунктирная линия) в районе Гудзонова залива в Канаде

Природные популяции, как правило, приспосабливаются к совместной жизни друг с другом, образуя более или менее взаимовыгодные формы совместного существования. Такие формы совместного существования разных видов называются *симбиозом*. При этом один из партнеров возлагает на другого задачу регулирования своих отношений с внешней средой. Симбиоз может развиваться на основе пищевых (питание неиспользованными остатками пищи) или пространственных (поселение на поверхности или внутри тела другого, использование нор, гнезд и т. д.) взаимоотношений.

Среди многих типов симбиоза важнейшими являются паразитизм, мутуализм и комменсализм. Следует отметить, что в отечественной экологической литературе границы употребления термина симбиоз обычно сужают, используя его лишь для обозначения взаимовыгодных отношений двух популяций, т.е. мутуализма. Однако в современной биологии понятие симбиоза чаще трактуется более широко и объединяет различные типы взаимоотношений двух популяций.

Одним из важных типов взаимоотношений между популяциями в природе является паразитизм — форма взаимоотношений между двумя организмами разных видов, которые носят антагонистический характер. Вид-паразит обычно использует другой вид (хозяин) в качестве среды обитания или источника пищи.

Паразитизм известен на всех уровнях организации живого, начиная вирусами и кончая высшими растениями и многоклеточными животными. Можно сказать, что паразитизм — явление всеобщее и довольно распространенное. Почти все живые существа могут подвергаться нападению паразитов. Организмы, которые не поражены какими-либо паразитами, являются большой редкостью. Даже человек является средой обитания для многих паразитов. Паразиты представлены во всех группах растений и животных, однако чем ниже на эволюционной лестнице находится данная группа, тем больше она включает видов-паразитов. К примеру, плоские черви, нематоды и некоторые членистоногие почти целиком состоят из паразитических форм.

Паразиты, питающиеся телом хозяина и обитающие на его поверхности, носят название *эктопаразитов*. Это блохи, вши, клещи, различные виды тлей. Паразиты, живущие во внутренних тканях, полостях и клетках хозяина, носят название *экзопаразитов*. Это различные вирусы, бактерии, гельминты и др.

Пути проникновения паразита в организм хозяина многообразны. Они могут попадать в пищеварительный тракт с пищей, могут активно внедряться через кожный покров, передаваться при посредстве переносчиков и т. п. Например, возбудитель тропической малярии *Plasmodium falciparum* вызывает тяжелую форму заболевания, при которой нередко развиваются церебральные нарушения. Переносчиком ее является самка комара из рода *Anopheles*. При множественных укусах этих комаров малярийный паразит проходит тканевый и эритроцитарный циклы развития. С первым связаны сильные боли в области печени, когда плазмодий внедряется в ее клетки. Здесь он недоступен для антималярийных препаратов. После разрушения клеток печени паразит попадает в эритроциты. Эритроцитарный цикл обуславливает возникновение приступов малярии (температура до 42,6°C, озноб). Малярия является довольно распространенной болезнью, особенно в Африке, где от нее ежегодно погибает свыше 1 млн детей в возрасте до 14 лет.

Все паразиты для обеспечения выживания своего вида должны переходить от хозяина к хозяину. Одни паразиты выработали довольно простой цикл воспроизведения. К примеру, многим бактериям, которые являются причиной таких болезней, как скарлатина, пневмония, дифтерия, достаточно попасть на поверхность тела хозяина или на некоторые его железы внешней секреции. Другие паразиты выработали довольно сложные циклы развития. К примеру, в кишечнике лисицы обитает ленточный червь, откладывающий там крошечные яйца. Вместе с экскрементами животного яйца попадают на землю или траву. Чтобы снова попасть в кишечник лисицы, паразиту необходим промежуточный хозяин. Заяц, поедая траву, захватывает яйца червя. В его организме они превращаются в личинки и затаиваются там до поры до времени в виде цисты — покоящейся стадии. Теперь все зависит от сноровки и прыткости лисицы, которая охотится за зайцем. Если ей удастся поймать его, цисты в ее кишечнике превратятся во взрослого червя и жизненный цикл паразита начнется сначала.

Взаимоотношения между человеком и различного рода паразитами установились с незапамятных времен. Ко многим паразитам человеческий организм приобрел невосприимчивость, но к некоторым, таким как переносчики туберкулеза, сифилиса, гриппа, еще не найдено эффективного противоядия. Следуя поговорке, что болезнь легче предупредить, чем лечить, человек нако-

нец-то понял, что истинная причина большинства болезней – это нарушение экологической среды.

Большинство болезней человека сегодня – это болезни цивилизации. Они проникали и проникают в самые отдаленные уголки земного шара вместе с развитием цивилизации. Особенно опасны новые болезни для сравнительно небольших замкнутых экосистем островов. Туземцы многих плотно заселенных островов Тихого океана до появления европейцев были необыкновенно здоровыми, так как у них выработался стойкий иммунитет к местным заболеваниям. Однако они оказались совершенно беззащитными против болезней, занесенных на их острова белыми. То же касается и различных групп туземцев, обитающих в тропических лесах Африки и Южной Америки. Полукочевые племена охотников и собирателей обычно мало подвержены таким местным болезням, как малярия. А вот обыкновенные грипп, корь, свинка, краснуха являются причиной повышенной смертности, поскольку у аборигенов нет против них врожденной сопротивляемости. Туземцы уединенного острова Пасхи страдают от вспышек гриппа, возникающего регулярно через 1–2 месяца после посещения острова чилийским инспекционным судном.

Среди растений и грибов также известно много паразитических видов. Одни растения-паразиты содержат хлорофилл и могут вырабатывать органические вещества, т. е. являются, собственно говоря, полупаразитами. Это паразитирующая на березах, осинах, ивах, дубах, соснах омела (*Viscum album*), которую часто можно встретить в белорусских лесах. Фотосинтез она осуществляет сама, а воду и минеральные соли добывает из ветвей растений, на которых живет, пуская вглубь древесных тканей особые присоски. К полупаразитам относится также луговое растение погремок (*Rhinanthus alectrolophus*). Под землей его корни паразитируют на корнях других растений. Чаще всего это злаки, но могут быть и другие зеленые растения, а то и свои же собраты-погремки.

Из типичных растительных паразитов можно указать растения, обитающие в наших лесах: петров крест (*Lathraea squamaria*), подбельник обыкновенный (*Hypopitys monotropa*), гнездовка настоящая (*Neottia nidus-avis*) и другие виды растений.

Много внутриклеточных паразитов среди низших грибов – различных видов ржавчинных, головневых, мучнистой росы.

При исследовании явления паразитизма экологи пришли к выводу, что участвующие в таком сожительстве организмы как



бы «равнодушны» к себе и используют друг друга только из эгоистических (если такой термин применим к миру растений и животных) побуждений. Действительно, оса *Chrysis ignata*, паразитирующая на пчелах, нисколько не заботится о благополучной жизни последней, так же как и наездник *Pleolophus basizonus*, который нападает на коконы европейского пилильщика *Neodiprion sertifer*.

Строго говоря, организмы, убивающие своего хозяина, являются не паразитами, а паразитоидами. У паразита имеется какое-то «совестливое сочувствие» по отношению к хозяину. В любом случае он вынужден идти на компромисс, чтобы сохранить жизнь своему хозяину, а значит, и себе, и в перспективе – потомству. Поэтому непрерывно вредить своему хозяину для паразита невыгодно. Паразитоиды же начисто лишены даже зачаточного чувства «совести».

Если паразитирование как тип взаимодействия популяций рассматривать в качестве крайне невыгодного сожительства для одного из партнеров, то на другой полюс спектра взаимодействий можно поместить тип положительного сотрудничества двух популяций – мутуализм. При таком взаимодействии один вид или одна популяция извлекает выгоду от сожительства с другим видом или популяцией. Классический пример – сотрудничество между цветковыми растениями и опыляющими их насекомыми. Насекомое получает необходимый ему нектар, а взамен осуществляет столь необходимый для растения акт опыления. При отсутствии опылителей растения во многих случаях оказались бы на грани вымирания, а насекомые без растительной пищи погибли бы.

Отношения человека со многими домашними растениями и животными также можно отнести к типу мутуалистических. Дикую розь – предшественника посевной культуры – в настоящее время довольно трудно найти, поскольку без поддержки человека она почти вымерла. Так же и культурные растения без воздействия человека дичают и вырождаются. То же можно сказать и в отношении домашних животных. Человек заинтересован в выживании видов животных, которые служат источником рационального питания.

Преимущества при мутуалистических отношениях могут быть разные. В одних случаях это использование пищевого ресурса одним из партнеров и охрана от посягательств врагов – для другого. Иногда один из видов имеет выигрыш в пище, а другой освобождается при этом от вредителей. Мелкие крабы-отшельники

имеют мягкое беззащитное тело и поэтому в качестве убежищ используют пустые раковины. В узком конце такой раковины обычно селится мелкий кольчатый червь. Он использует объедки, оставленные после пиршества краба, а со своей стороны поддерживает чистоту в раковине. Часто на таких раковинах поселяются актинии, которые своими щупальцами отпугивают от крабов хищников, взамен получают возможность мигрировать на новые пищевые поля вместе с раковиной защищаемого ими краба.

Если каждый партнер получает пользу от сожительства с другим организмом, но не зависит от него, то перед нами пример *факультативного мутуализма*. Опылитель – цветок, краб-отшельник – актиния – это примеры факультативного мутуализма.

Если же взаимовыгодное самостоятельное существование одного из организмов (или обоих) невозможно друг без друга, то такой мутуализм называется *облигатным*. Примером такого типа мутуализма может служить симбиоз между жвачными (олени, крупный рогатый скот, антилопы) и бактериями, обитающими в их рубце (один из четырех отделов желудка жвачных). Рубец населен многочисленными бактериями из родов *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Clostridium*, *Vethanobacterium* и др. Бактерии рубца приспособлены только к анаэробным (бескислородным) условиям, и многие виды под воздействием кислорода мгновенно гибнут. Основная пища жвачных – целлюлоза и другие растительные волокна. Однако сами животные лишены ферментов, которые способны разлагать растительный материал. Бактерии же выделяют целлюлозоразрушающие ферменты. Продукты микробной ферментации используются организмом-хозяином, а последний создает для бактерий непрерывный приток субстратов (растительная целлюлоза) и контролирует условия его сбраживания, нейтрализуя слюной излишнюю кислотность среды, где обитают бактерии.

Крайним случаем облигатного мутуализма может являться теснейшее сожительство гриба и водоросли, когда оба вида находятся в теснейшей ассоциации. Речь идет о лишайниках. В процессе эволюции некоторые водоросли перешли от обычного свободного образа жизни к мутуалистической ассоциации с водорослями (в литературе для такого сожительства обычно применяют термин симбиоз). Лишайник состоит из водоросли и гриба, живущих в тесных мутуалистических взаимоотношениях. Из примерно 70 000 видов грибов около 25 % входят в состав лишайников. Среди водорослей эта цифра значительно меньше.

Пока удалось установить только около 30 родов водорослей, образующих с грибами единый организм. Интересно, что водоросли, входящие в состав слоевища лишайника, могут существовать сами по себе, а почти все грибы – только в составе лишайников.

Часто встречается тип взаимоотношений между видами или популяциями, который носит название комменсализма. В данном случае вид-комменсал извлекает пользу от сожительства, а другой вид (или популяция) ничего не выигрывает от этого, но и не страдает.

Особенно часто комменсализм можно наблюдать в морской или океанической среде. Например, стаи рыб-лоцманов (*Naucrates ductor*) часто держатся вблизи крупных хищных акул. С одной стороны, они находятся в относительной безопасности, а с другой – им иногда перепадают остатки не съеденной акулами пищи. На акул присутствие этих рыб не оказывает никакого влияния. Известный путешественник Тур Хейердал так описывает в своей книге «Экспедиция “Кон-Тики”» акульную свиту: «Смотришь на гребень, а там, словно за стеклянной стеной, прямо на тебя не спеша идет акула, и лоцманы снуют у нее перед мордой... Это небольшая сигаровидная рыбка, полосатая, как зебра; лоцманы стаями вертятся перед носом акулы, образуя ее свиту. Свое название они получили потому, что их долго считали как бы проводниками плохо видящих акул. На самом деле лоцманы сами лишь слепо следуют за акулой и уходят вперед только тогда, когда в поле зрения появляется что-то съедобное».

Еще один пример – обитание средиземноморского вида рыбы карапуса (*Carapus acus*) в полости тела некоторых видов голотурий (морские беспозвоночные, относящиеся к классу иглокожих, – *Echinodermata*). Для карапуса полость голотурии – своего рода убежище, для голотурии же присутствие карапуса безразлично. Никакой выгоды она от такого сожительства не имеет.

Резюмируя все вышесказанное, следует отметить, что современная экология придает изучению популяций особое значение. Исследовать вид в динамике, показать его структурно-функциональные особенности можно, лишь детально изучив особенности жизнедеятельности составляющих его отдельных особей. Такой популяционный подход решает вопросы, связанные с выявлением факторов, влияющих на распространение, обилие, рост численности отдельных популяций.

Так как любая популяция вида организмов в природе вступает в разнообразную сеть взаимосвязей, взаимодействий, экологию

особенно важно знать специфику этих взаимодействий, важнейшими из которых являются конкуренция, хищничество, паразитизм, комменсализм и мутуализм. Следствием всех этих взаимодействий между популяциями и отдельными видами является возникновение и поддержание биологического разнообразия в природных биосистемах, которое является основой эволюции различных форм живого вещества на нашей планете.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ

Для современных работ в области популяционной экологии характерно стремление не только описать то или иное явление, но и дать ему удовлетворяющее эколога объяснение. Во многих случаях от экологов требуют также и поиска путей разрешения того или иного «экологического инцидента». В результате приобретаются (или уточняются) знания о жизнедеятельности и экологии того или иного вида.

В экологии достаточно классических примеров, когда вспышки численности вида приводили к возникновению «экологических взрывов». Один из виднейших зоологов Чарлз С. Элтон, профессор Оксфордского университета, изучая расселение и «нашествия» живых существ, писал: «Экологические взрывы отличаются от некоторых других тем, что они не производят столь сильного шума и протекают не так быстро. Иными словами, они могут медленно развиваться и так же медленно затухать; но иногда их последствия оказываются весьма внушительными и вызывают разорение, гибель или вынужденную эмиграцию множества людей».

Один из примеров внедрения чужеродного вида в экосистему со свободными экологическими нишами — нашествие кактуса из рода опунция (*Opuntia*) на Австралийский континент.

Эти кактусы были ввезены в Австралию в начале века для использования в качестве живых изгородей. Однако при отсутствии сильных конкурентов опунция быстро распространилась по всей материке, превратившись в сорняк и заняв тысячи гектаров ценных луговых и пастбищных угодий. После нескольких неудачных попыток искоренения опунции для борьбы с ней завезли из Южной Америки бабочку кактусовую огневку (*Cactoblastis cactorum*). Ее гусеницы кормятся на растущих побегах опунции и быстро уничтожают растение, буквально пресекая ее развитие в

самом зародыше. Это насекомое оказалось таким эффективным средством борьбы, что уже через несколько лет о вреде, наносимом опунцией, вспоминали как о чем-то давно прошедшем.

Для борьбы с опунцией экологи вынуждены были изучить биологию, экологию, способ размножения не только растения-вредителя, но и могущего оказать помощь насекомому. Экологической катастрофы удалось избежать, «нашествие» чужестранца было подавлено. Однако опасность таких катастроф в современном мире реально существует.

Вот совсем свежий пример. Мы уже упоминали печальные последствия для природы Австралии распространения там водяного папоротника сальвинии. Сходная картина, но уже с другим видом этого рода, наблюдается в настоящее время в Юго-Восточной Азии. В начале 1997 г. ботаники острова Тайвань забили тревогу. Они утверждают, что острову угрожает биологическая катастрофа. Обнаружен вторженец за стеклами домашнего аквариума. Это невинная на вид, неприхотливая и очень декоративная сальвиния молеста (*Salvinia molesta*) – мелкий плавающий водяной папоротник. Сальвинию молесту, что в переводе с латыни означает «немного раздражающая», привезли из Шри-Ланки, и она быстро приобрела популярность. Попадая с водой из аквариумов в канализацию, а затем в водоемы, сальвиния, не имея серьезных врагов, в короткое время способна превратить чистую воду в зеленое месиво, забивая водосточные каналы и очистные сооружения. Сейчас, когда ученые разоблачили ее убийственные свойства, тайваньцы с ужасом смотрят на этот фантастический организм. Водоросль обладает способностью размножаться с колоссальной скоростью, лишая флору и фауну кислорода. Мало того, в водорослях живут очень вредные червячки-паразиты. Попадая вместе с питьевой водой в организм, они вызывают заболевания печени, почек и других органов. Таким образом, перед экологами стоит новая задача. Необходимы серьезные исследования, чтобы найти ключ к решению проблемы столь массового развития популяции этого маленького зеленого вредителя.

Таковыми и подобными вопросами занимается популяционная экология. Ее значение для будущего человечества трудно переоценить. Хотя экологи-популяционисты начинали с исследований популяций различных вредителей с целью разработки мер защиты от них, направленность их работ не исчерпывается этой областью. Популяционная экология призвана разрабатывать на-

учные основы сохранения видов растений и животных, которым угрожает исчезновение, для чего необходимы тщательные детальные исследования их популяций в естественной среде.

Одна из задач популяционной экологии — поиск путей предотвращения полного вымирания промысловых животных при их хозяйственном использовании, например среди китообразных и многих видов рыб. Для эколога-популяциониста основным объектом исследования становится популяция животного или растения в естественных природных условиях, а задача, которую он решает, — получение необходимых сведений о состоянии той или иной популяции. Решение подобной задачи возможно лишь при детальном изучении таких популяционных параметров, как пространственные изменения популяции (изучение миграционных процессов) и изменения во времени (динамика числа особей данного вида).

## Глава 4

# БИОЦЕНОЗЫ

Экология, еще не имея статуса самостоятельной науки, создавалась и развивалась многими выдающимися натуралистами прошлых столетий. Постепенно биологи, изучавшие отдельные объекты живой природы, пришли к выводу, что цельные результаты, адекватно отражающие законы природного окружения, можно получить лишь рассматривая природные явления и населяющие природную среду организмы как целостный объект, как природное целое. Зародилась идея наличия в природе закономерных комплексов, в которых живые организмы связаны большим количеством разнообразных связей.

Впервые на возможность выделения таких комплексов обратил внимание немецкий гидробиолог Карл Август Мёбиус. Он изучал комплексы сплошных многослойных поселений устриц (*Ostrea edulis*), которые образуют так называемые устричные банки. Такие комплексы живых организмов, постоянно встречающихся вместе в различных пунктах одного и того же водного бассейна при наличии одинаковых условий существования, Мёбиус назвал биоценозами. Термин «биоценоз» (от греч. «биос» — жизнь и «ценозис» — общий) был впервые введен им в научную литературу в 1877 г.

«Каждая устричная банка, — писал в своем труде Мёбиус, — является сообществом живых существ, собранием видов и скоплением особей, которые находят здесь все необходимое для их роста и существования, то есть соответствующий грунт, достаточно пищи, надлежащую соленость и благоприятную для их развития температуру... Наука, однако, не имеет слова, которым такое сообщество живых существ могло бы быть обозначено; нет слова для обозначения сообщества, в котором сумма видов и особей, постоянно ограничиваемая и подвергающаяся отбору под влиянием внешних условий жизни, благодаря размножению непрерывно владеет некоторой определенной территорией. Я предлагаю для такого сообщества слово «биоценозис».

## ПОНЯТИЕ БИОЦЕНОЗА

В современной экологической литературе термин **биоценоз** (*biocoenosis*) обычно применяется как синоним термина сообщество (*community*). Биологи по-разному трактуют суть этого понятия. Одни понимают под этим термином группу встречающихся совместно популяций, другие – пространственно ограниченные совокупности (ассоциации) растений и животных с доминированием (преобладанием) какого-либо одного вида: сообщества птиц, насекомых, луговых растений, еловое сообщество, осоковое сообщество и т. п.

В настоящее время наиболее исчерпывающим можно признать определение биоценоза, которое дал американский эколог Роберт Хардинг Уиттекер в своем фундаментальном труде «Сообщества и экосистемы». Биоценоз – это сочетание популяций растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды и образующих тем самым особую живую систему со своими собственными составом, структурой, взаимоотношениями со средой, развитием и функциями.

Следует отметить, что биоценозы – это открытые системы (как и вообще все биологические системы), и в природе переходят одни в другие вдоль тех или иных градиентов среды, а не занимают четко ограниченные зоны. Нередко различные биоценозы настолько сливаются, переходя друг в друга, что при отсутствии четких границ между средами обитания иногда невозможно определить, где кончается один и начинается другой биоценоз. Поэтому установить границы биоценоза бывает нелегко. Иногда экологи при выделении сообщества ограничиваются произвольным набором видов.

Каждому биоценозу соответствует **биотоп** – участок с однородными экологическими условиями, который он занимает, совокупность неживых компонентов, однородное по абиотическим факторам среды пространство. Иногда биотоп отождествляют с местообитанием. Однако местообитание – это территория (или акватория), арена, на которой происходит развитие вида или популяции. Биотоп же – это абиотическая среда биоценоза.

В приведенном нами выше определении биоценоза акцент делается на приуроченность организмов к определенному местообитанию. К одному биоценозу относятся виды, которые сосуществуют вместе в пределах данной среды. Для сравнения следует привести определение биоценоза, предложенное отечествен-



ными экологами. Биоценоз – это совокупность всех популяций биологических видов, принимающих существенное (постоянное или периодическое) участие в функционировании данной экосистемы. Как видим, в биоценоз включаются виды растений, животных и микроорганизмов, которые не только постоянно обитают в рассматриваемой экосистеме, но оказывают существенное воздействие на жизнь экосистемы.

Например, многие насекомые размножаются в водоемах, где служат важным источником питания рыб и некоторых других животных, а во взрослом состоянии ведут наземный образ жизни, т. е. выступают как элементы сухопутных биоценозов. Зайцы могут питаться на лугу, а обитать в лесу. То же касается и многих видов лесных птиц, которые ищут себе пропитание не только в лесу, но и на прилегающих лугах или болотах. Примеры можно продолжить, и особенно это касается многих животных, ведущих кочевой образ жизни.

Поддержание структуры и функций сообщества зависит от сложного ряда взаимодействий, непосредственно или косвенно связывающих его членов в одну сложную сеть. Влияние той или иной популяции простирается до экологически отдаленных частей сообщества через ее конкурентов, хищников и жертв. Насекомоядные птицы не поедают деревья, но они поедают многих насекомых, которые кормятся листьями или опыляют цветы. Поедая насекомых-опылителей, птицы косвенным образом воздействуют на число производимых деревом плодов, на количество пищи, доступной животным, которые питаются плодами и проростками, на хищников и паразитов этих животных и так далее.

## **ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БИОЦЕНОЗА**

Каждый биоценоз можно описать, основываясь на совокупности составляющих его видов. Одни биоценозы состоят преимущественно из видов животных, как, например, биоценоз кораллового рифа. В других биоценозах главную роль играют растения (биоценоз елового, березового, дубового леса). Степень насыщенности видами в различных биоценозах разная.

Самая известная закономерность видового разнообразия – его уменьшение от тропиков в сторону высоких широт. Причем это касается всех групп наземных и водных организмов – от двусторчатых моллюсков, муравьев и летающих насекомых до пресмыкающихся, птиц, деревьев.

Например, во влажных тропических лесах Малайзии на 1 га леса можно насчитать до 200 видов древесных пород. Биоценоз соснового леса в условиях Беларуси может включать максимум до десяти видов деревьев на 1 га, а на севере таежной области на такой же площади присутствуют 2–5 видов. Наиболее бедными биоценозами являются альпийские и арктические пустыни, самыми богатыми – тропические леса. Правда, не обходится и без исключений. Пингвины и тюлени приполярных областей здесь наиболее разнообразны. Однако в тропиках таких групп животных, не встречающихся в более высоких широтах, значительно больше.

Наиболее простым показателем видового разнообразия биоценоза является общее число видов – видовое богатство. Если какой-либо вид растения (или животного) количественно преобладает в сообществе (имеет большую биомассу, продуктивность, численность или обилие), то такой вид называется *доминантом*, или доминирующим видом.

На 0,1 га луга с доминированием овсяницы луговой (*Festuca pratensis*) можно насчитать до 50–60 видов высших растений; на 0,1 га широколиственной дубравы из дуба черешчатого (*Quercus robur*) произрастает 25–30 видов, а на такой же площади в сосняке мшистом произрастает всего 15–20 видов. Очевидно, что данные биоценозы различаются по видовому богатству, или видовому разнообразию. Такое видовое разнообразие сообщества, число видов, встреченное в определенном местообитании, носит название *альфа-разнообразия*. Для оценки *альфа-разнообразия* самым простым и надежным показателем является подсчет числа видов на единицу площади.

Наряду с *альфа-разнообразием* различают *бета-разнообразие* – разнообразие сообществ и *гамма-разнообразие* – видовое разнообразие ландшафтов, которые состоят из различных сообществ.

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Биоценозы обладают рядом признаков и свойств, которые дают представление о характере их структуры. Любой биоценоз складывается из многих видов животных, растений и микроорганизмов, объединенных между собой сложными взаимосвязями. Последние характеризуют структуру биоценоза, под которой подразумеваются состав подчиненных элементов, их взаимное расположение (пространственная или морфологическая структура) и

различные взаимоотношения между ними (функциональная структура). Все эти составляющие рассматриваются в динамике, так как они изменяются в пространстве и во времени. Проблема изучения пространственной структуры биоценоза сводится в общих чертах к расчленению его на различающиеся между собой внутриценозные части и выяснению их характера, взаимосвязей и степени зависимости друг от друга и от условий среды.

**Пространственная структура биоценоза** включает его вертикальную и горизонтальную структуру.

Вертикальная структура биоценоза образована отдельными его элементами, особыми слоями, которые называются ярусами. *Ярус* — совместно произрастающие группы видов растений, различающиеся по высоте и по положению в биоценозе ассимилирующих органов (листья, стебли, подземные органы — клубни, корневища, луковицы и т. п.). Как правило, разные ярусы образованы разными жизненными формами. Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах: ельниках, сосняках, дубравах, березняках (рис. 22).

Первый ярус здесь обычно формируют деревья с высокими кронами, у которых листва хорошо освещается солнцем. Неиспользованный свет может поглощаться деревьями пониже, образующими второй, подпологовый, ярус. Оставшаяся солнечная радиация (около 10 %) перехватывается ярусом подлеска. Это различные кустарники. Остаток света — от 1 до 5 % используется растениями травяного покрова (травяно-кустарничковый ярус). Напочвенный слой мхов и лишайников формирует мохово-лишайниковый ярус. Итак, схематично в лесном биоценозе выделяются древостой, подлесок, травяной покров и мохово-лишайниковый ярус (рис. 23). Следует отметить, что ярусов может быть меньше (например, отсутствуют кустарники) или больше (в сложных смешанных древостоях с несколькими древесными породами). В состав ярусов не включают лианы, эпифиты, растения-паразиты, которые выделяются в группу внеярусной растительности. В лесах умеренного пояса можно выделить 2–3 (реже больше) яруса. В тропических лесах ярусы выделить довольно сложно, хотя разные виды деревьев характеризуются разной высотой.

В травяных сообществах также выделяют ярусы, хотя они менее четко выражены, чем в лесных сообществах. Обычно первый ярус здесь образуют высокие злаки и травы, такие как вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*) или чертополох (*Carduus*

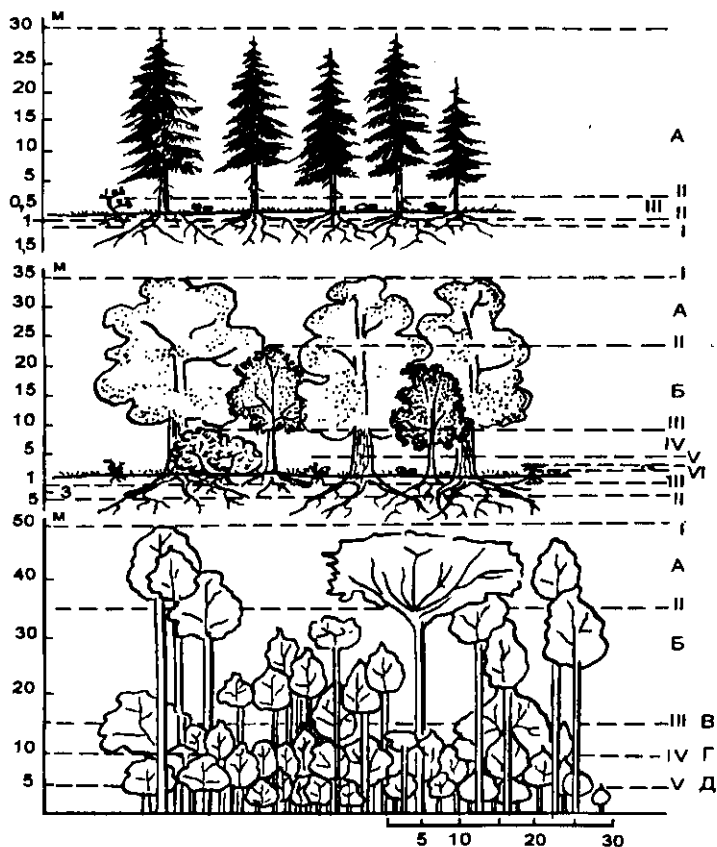


Рис. 22. Ярусное строение некоторых растительных сообществ: сверху вниз – ельник, дубрава, тропический дождевой лес (римскими цифрами обозначены ярусы растительных сообществ в их надземной и подземной частях)

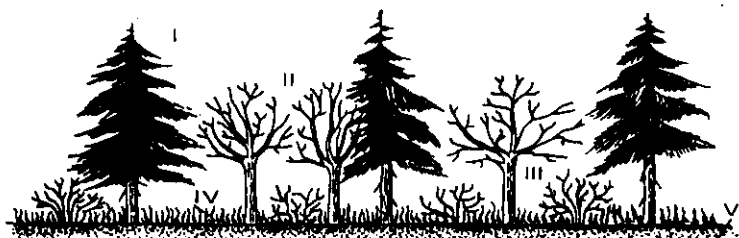


Рис. 23. Схема ярусного строения лесных сообществ умеренной зоны. Ярусы: I – ель; II – береза, осина; III – подросток из крушины, рябины, жимолости; IV – папоротники, кустарнички (черника, голубика), высокие травы; V – моховой покров

*acanthoides*). Затем идет ярус трав средней высоты. Это могут быть мятлик однолетний (*Poa annua*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), ромашка непахучая (*Matricaria perforata*) и другие виды. К третьему ярусу можно отнести лапчатку гусиную (*Potentilla anserina*), вербейник монетчатый (*Lysimachia nummularia*), подорожник обыкновенный (*Plantago major*).

Ярусность свойственна и подземным частям растений. Такие ярусы выделяют по глубине залегания всасывающих частей корней. Ярусность в подземной части биоценоза способствует более продуктивному использованию воды и минеральных веществ в разных горизонтах почвы. Благодаря этому на одной и той же территории может обитать большое количество растений. Подземные ярусы не всегда легко выделить, поскольку основная масса корней приходится на самый верхний слой почвы глубиной до 20–30 см. Тем не менее часто можно выделить 2–3, а то и больше подземных ярусов.

В. А. Быков (1970) предлагает различать следующие ярусы:

- ярус деревьев первой величины;
- ярус деревьев второй величины;
- ярус низких деревьев, полудеревьев и кустарников;
- ярус высоких трав и средних кустарников;
- ярус средних трав и низких кустарников;
- ярус низких трав и кустарничков;
- ярус напочвенных растений;
- ярус приповерхностных корней, корневищ и клубней;
- ярус среднеглубинных корней, корневищ и клубней;
- ярус глубинных корней и корневищ.

В водных сообществах, кроме яруса корней и корневищ, различают:

- ярус надводных трав;
- ярус плавающих трав;
- ярус высоких водных трав;
- ярус низких водных трав;
- ярус придонных растений (водоросли).

Подобно распределению растительности по ярусам, разные виды животных также занимают в биоценозах определенные уровни. В почве живут почвенные черви, микроорганизмы, землеройные животные. В листовом опаде, на поверхности почвы обитают различные многоножки, жуки, клещи и другие мелкие животные. В верхнем пологе леса гнездятся птицы, при-

чем одни могут питаться и гнездиться ниже верхнего яруса, другие в кустарниках, а третьи возле самой земли. Крупные млекопитающие обитают в нижних ярусах.

Ярусность присуща и биоценозам океанов и морей.

Горизонтальная структура биоценоза — это горизонтальное распределение особей видов, образующих различного рода узорчатость, пятнистость каждого вида. Горизонтальная структура биоценозов изучалась в основном по отношению к растительным сообществам и традиционно рассматривалась в двух аспектах:

1) состав растительного покрова из пространственных, элементарных единиц структуры;

2) состав растительного покрова из более или менее однородных пространственно отграниченных групп растений.

Видовые популяции в биоценозе могут произрастать диффузно, отдельными особями, однако чаще всего они образуют заросли или группы особей одного или нескольких видов, которые различаются по ряду признаков.

Мозаичность сообществ — явление всеобщее, характерное для всех типов растительности.

Насчитывается три элементарные единицы горизонтального строения растительных сообществ:

1. *Микроценоз* (от греч. «микрос» — малый и «койнос» — общий) — наименьшая по размерам структурная единица горизонтального расчленения сообщества, которая включает все ярусы, обособлена в вертикальном направлении от других окружающих ее микроценозов этого же сообщества, характеризуется определенными составом, структурой, динамикой и обладает некоторой целостностью. Почти каждое сообщество включает в себя комплекс микроценозов, или микроценозов.

2. *Парцелла* (от франц. *parcelle* — частица) — часть горизонтального расчленения биоценоза, отличающаяся от других частей составом и свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена. Парцеллы различаются по пропусканию физиологически активной радиации, водному режиму верхней толщ почвы, количеству проникающих осадков, особенностям почв, количеству опада и т. п.

В качестве примера можно привести следующие парцеллы в хвойно-широколиственном лесу: густые группы елового подроста, обособленные группы лип (липовая парцелла), участки осины со снытевым покровом (осиново-снытевая парцелла), парцелла крупных папоротников в «окне» древесного полога и др.

Термин «парцелла» употребляется и при изучении горизонтальной структуры животного населения. В этом случае под парцеллой понимается совокупность одиночных особей или семей, живущих в непосредственной близости друг от друга и часто контактирующих между собой.

3. *Микрогруппировка* – сгущение особей одного или нескольких видов в пределах яруса, внутриярусные мозаичные пятна. Например, в моховом ярусе можно выделить различные пятна мхов с доминированием одного или нескольких видов, в травяно-кустарничковом ярусе – черничные, чернично-кисличные, голубично-сфагновые микрогруппировки и т. п. Иногда термины «микроценоз» и «микрогруппировка» употребляются как синонимы.

Наличие горизонтальных элементов биоценоза, мозаичности имеет довольно важное значение для жизни сообщества. Мозаичность позволяет более полно использовать различные типы микроместообитаний. Это ведет к увеличению численности и разнообразия видов в сообществе, способствует повышению жизнестойкости всего сообщества и лучшему возобновлению растений. Часто мозаичность растительности можно использовать как показатель неоднородности микроусловий внешней среды.

Растительный покров одевает всю поверхность земного шара сплошным зеленым ковром (за исключением пустынных и ледниковых зон). Если бы не деятельность человека, то зеленый покров нашей планеты так и оставался бы сплошным и ненарушенным. Человек же своей деятельностью в одних местах полностью уничтожил зеленое покрывало Земли, в других оставил на ней голые пятна городов, рудных разработок, рукотворных пустынь.

Однако благодаря высокой пластичности живых организмов растения быстро заполняют любую освобождающуюся экологическую нишу, и раны, нанесенные природе человеком, во многих местах постепенно затягиваются. Если вообще устранить влияние человека (антропогенный пресс) на живую природу, то по прошествии определенного периода времени языки растительного покрова сомкнутся и снова покроют безжизненную землю. Такое явление уже наблюдается в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, где вот уже больше десяти лет не проявляется никакой хозяйственной деятельности человека. Постепенно дороги, заброшенные деревни и хозяйственные постройки зарастают естественной растительностью.

Таким образом, растения, образующие растительные сообщества, составляют основу, каркас биоценоза. Американский биолог Хатчинсон, в частности, связывал существование в природе

такого разнообразия видов животных с наличием большого числа видов растений. Действительно, большая растительная биомасса служит животным достаточным источником пищевых ресурсов, причем ресурсов разнообразных. Следствием этого разнообразия является специализация животных по растительному питанию, непосредственно (при прямом поедании растений) или опосредованно (при поедании мелких животных, селящихся на растениях). Именно поэтому существуют многовидовые биоценозы с большим числом видов растений и животных.

Растения, зеленым океаном покрывающие сушу, создают непрерывную ткань взаимовлияний. Это касается не только сухопутной, но также и водной растительности. Однако если мы обратим внимание на растительный покров любой местности, то увидим, что он складывается из различных растительных сообществ. Мы можем вполне отчетливо выделить обособленные участки елового или соснового леса, болота, луга и т. п. Такие обособленные участки можно назвать *дискретными единицами* (дискретный – от лат. *discretus* – прерывистый, состоящий из отдельных частей).

Взгляд на растительность как систему дискретных единиц сложился в начале нашего века. Однако тогда же, в 1910 г., молодой двадцатилетний ученый Л. Г. Раменский сформулировал представления о растительном покрове как о явлении непрерывном. Он писал: «Растительность – в основе явление непрерывное... Обычно устанавливаемые исследователями границы единиц растительности отражают не действительные природные отношения, а главным образом условные приемы исследования, отсутствие действительно количественных определений и недостаточность, отрывочность материала описаний. ...Прерывность растительного покрова только относительна, так как имеется переходная полоса, хотя бы и узкая...».

Непрерывность как свойство растительного покрова носит название *континуума*. Справедливости ради следует сказать, что общепринятого определения континуума не существует. В самом общем виде его можно определить как специфическое свойство растительного покрова, проявляющееся в том, что любые два произвольно выбранные примыкающие друг к другу участка независимо от их размеров и способа определения их границы всегда имеют общие признаки. Это свойство проявляется как на уровне растительного покрова в целом, так и на уровне его элементов.

Современные экологи отмечают, что растительному покрову присущи свойства как континуальности, непрерывности, так и



относительной дискретности, которые выражены одновременно и всюду. В экологии свойство непрерывности растительного покрова распространяется в целом на непрерывный ряд популяций, биоценозов, обусловленный изменением градиента экологических факторов. Вполне очевидно, что континуум растительности и всей биоты (совокупности живых организмов, объединенных общей областью распространения) в целом проявляется на фоне континуума абиотической среды. Постепенное изменение градиентов условий среды, абиотических факторов обуславливает существование непрерывной ткани взаимовлияний различных организмов.

С проблемой континуальности связана проблема определения границ биоценозов. Хотя различные биоценозы и представляют собой естественные экосистемы с определенной степенью целостности и очерченными границами, провести четкие границы между биоценозами не всегда представляется возможным. Сухой лес постепенно переходит в увлажненный луг, который сменяется болотом. Визуально мы отграничим лес от луга и болота, но сказать четко, где проходит линия границы, мы не в состоянии. В подавляющем большинстве случаев мы будем иметь дело со своеобразной переходной полосой различной ширины и длины, потому что жесткие, резкие границы в природе – редкое исключение. Они характерны главным образом для сообществ, подверженных интенсивному антропогенному воздействию. Такая переходная полоса (или зона) между смежными физиономически различными сообществами называется *эктоном*.

Более или менее резкие границы между биоценозами можно наблюдать лишь в случаях резкого изменения факторов абиотической среды. Например, такие границы существуют между водными и наземными биоценозами, в местах, где происходит резкая смена минерального состава почвы и т. п. В целом же, говоря об экотоне, мы имеем в виду переходную полосу между соседними (двумя или несколькими) контактирующими биоценозами, некую зону контакта, высокой биологической активности, где присутствуют организмы как из одного, так и из другого биоценоза. Поэтому часто количество видов в экотоне превышает таковое в каждом из граничащих биоценозов. Эта тенденция к увеличению разнообразия и плотности организмов на границах биоценозов носит название *краевого эффекта*. Наиболее отчетливо краевой эффект проявляется в зонах, отделяющих лес от луга (зона кустарников), лес от болота и т. д.

## ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

По участию в биологическом круговороте веществ в биоценозе различают три группы организмов.

1. **Продуценты** (автотрофные организмы) – синтезируют с помощью солнечного света из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а также минеральных веществ органические соединения, преобразуя при этом световую энергию в химическую. Скорость, с которой в ходе фотосинтеза солнечная энергия преобразуется в органическое вещество, в пересчете на единицу площади носит название *первичной продукции*. Она выражается либо в единицах энергии (джоуль на  $1 \text{ м}^2$  за сутки), либо в единицах сухого органического вещества (килограмм на  $1 \text{ га}$  за сутки).

2. **Консументы** (гетеротрофные организмы) – животные организмы, которые питаются готовым органическим веществом растений или животных. Консументы сами не могут строить органическое вещество из неорганического и получают его в готовом виде, питаясь другими организмами. В своих телах они преобразуют органику в специфические формы белков и других веществ, а в окружающую среду выделяют отходы, которые образуются в процессе их жизнедеятельности. Скорость образования биомассы консументами носит название *вторичной продукции*.

3. **Деструкторы** (разрушители), или **редуценты** – окисляют мертвые органические остатки до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . К редуцентам относятся бактерии, грибы, простейшие, т. е. находящиеся в почве гетеротрофные микроорганизмы. Деструкторы полностью разлагают все растительные и животные остатки до неорганических составляющих, которые снова могут быть вовлечены в круговорот веществ, тем самым замыкая его.

Энергия, содержащаяся в одних организмах, потребляется другими организмами. Такой перенос энергии от автотрофов через последовательный ряд организмов к потребителям – гетеротрофам, происходящий в результате поедания одними организмами других, называется *пищевой цепью* (рис. 24). Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5. Совокупность организмов, объединенных определенным типом питания, носит название *трофического уровня*. Первый трофический уровень занимают автотрофы (продуценты), второй – растительноядные животные (консументы первого порядка), третий – хищники, питающиеся растительноядными животными (консументы второго порядка), и паразиты первичных консументов. И,

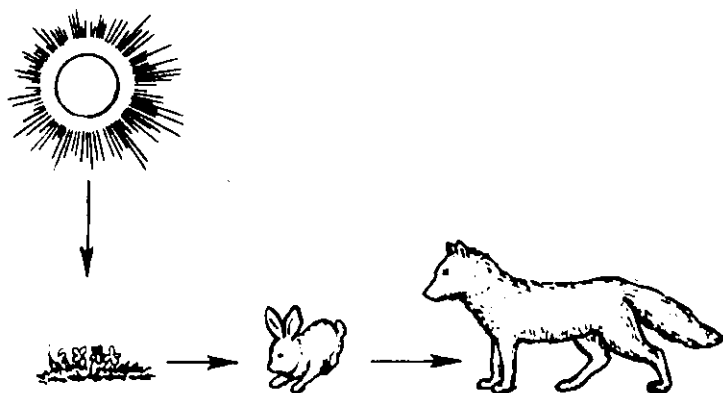


Рис. 24. Передача энергии в пищевой цепочке

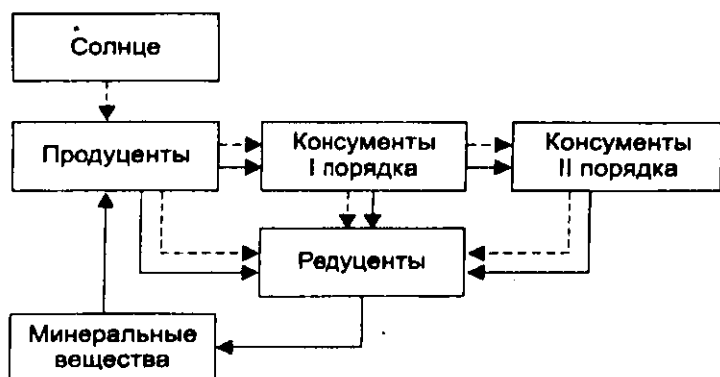


Рис. 25. Упрощенная схема переноса вещества (сплошная линия) и энергии (пунктирная линия) в процессе биологического круговорота (В. Е. Соколов, И. А. Шилов, 1989)

наконец, вторичные хищники (консументы третьего порядка) и паразиты вторичных консументов образуют четвертый трофический уровень. Трофических уровней может быть и больше, когда учитываются паразиты, живущие на консументах предыдущих уровней (рис. 25–27).



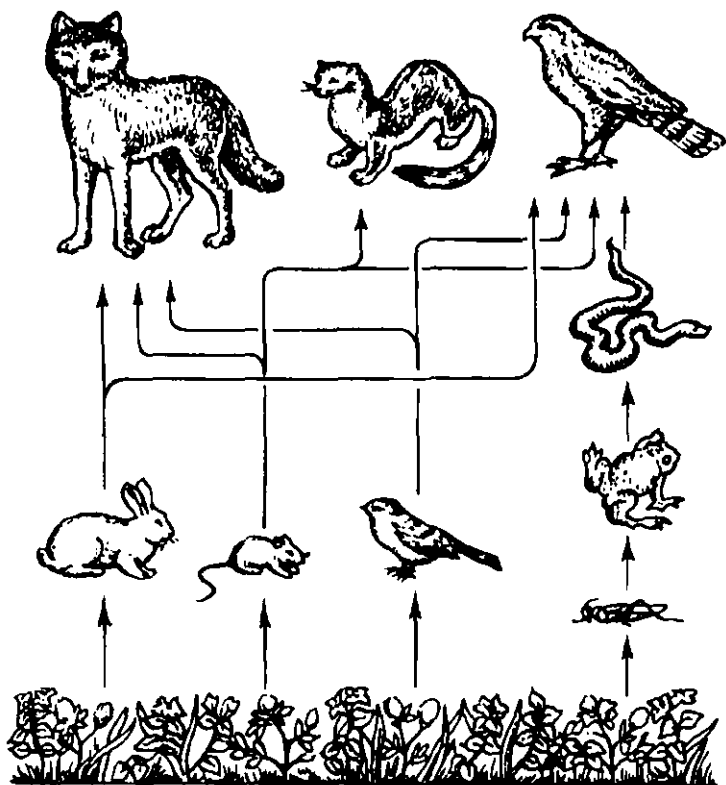


Рис. 27. Пищевая сеть, образованная в результате пересечения пищевых цепочек

В развитых, сложившихся биоценозах существуют сложные пищевые взаимодействия между автотрофами и гетеротрофами. Поэт Николай Заболоцкий так отобразил три звена пищевой цепи гетеротрофов: «Жук ел траву, жука клевала птица, хорек пил мозг из птичьей головы».

Простейшая пищевая цепь (или цепь питания) может состоять из фитопланктона, затем более крупных планктонных ракообразных и заканчивается китом, который фильтрует этих ракообразных из воды. Всем известная примета погоды, когда ласточки летают низко над землей, тоже повинуетсa биологическому закону цепей питания. Как известно, при низком полете ласточек обычно ожидаются ухудшение погоды и дождь. Комары – любимое

лакомство ласточек – постоянны в своей зависимости от атмосферного давления. Если оно понижается, то меняют «воздушный коридор» и комары, а за ними вниз к земле устремляются ласточки. Комары для них – одно из основных звеньев пищевой цепи. Глядя на низко летающих пернатых, мы говорим, что это – к дождю, и в большинстве случаев оказываемся правыми.

Еще один пример – цепь питания из болотного биоценоза. Начинается такая цепь с улавливания солнечной энергии цветком. Бабочка, питающаяся нектаром цветка, представляет собой второе звено в этой цепи. Стрекоза, одно из самых хищных летающих насекомых, нападает на бабочку. Спрятавшаяся среди зеленой травы лягушка ловит стрекозу, но сама служит добычей для такого хищника, как уж. Это уже пятое звено пищевой цепи. Целый день уж мог бы переваривать лягушку, но еще не успело зайти солнце, как он сам стал добычей другого хищника – ястреба. Цепь питания замкнулась. У ужа, так же как и у кита, особых врагов нет. Вот только человека им стоит опасаться. Человек – потенциальное (но не обязательное) заключительное звено пищевой цепи.

Пищевая цепь, идущая от цветка через стрекозу, лягушку, ужа к ястребу, указывает путь органических веществ, а также содержащихся в них энергии и неорганических питательных веществ. Общее правило, касающееся любой пищевой цепи, гласит, что на каждом трофическом уровне сообщества большая часть поглощаемой с пищей энергии рассеивается в виде тепла, движения, а у светящихся организмов – в виде света, причем ни одна из этих форм энергии не может быть использована другими организмами. Таким образом, потребленная пища на каждом трофическом уровне ассимилируется неполностью. Значительная ее часть тратится на обмен веществ. При переходе к каждому последующему звену пищевой цепи общее количество пригодной для использования энергии, передаваемой на следующий, более высокий трофический уровень, уменьшается. Продукция каждого последующего уровня примерно в 10 раз меньше, чем предыдущего.

Трофическую структуру обычно отображают графическими моделями в виде *экологических пирамид*. Такие модели разработал в 1927 году американский зоолог Чарлз Элтон.

Различают три типа экологических пирамид (рис. 28–32).

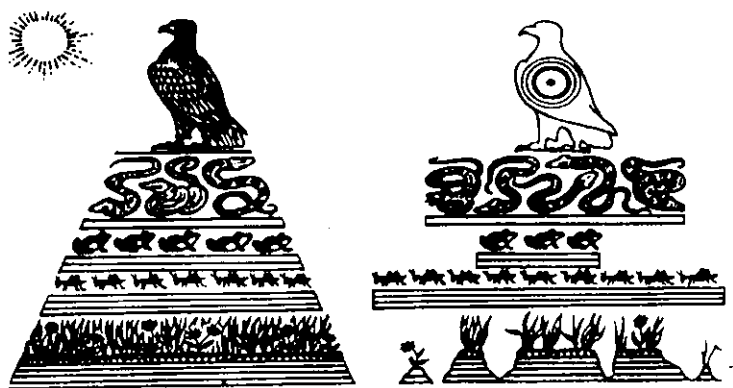


Рис. 28. Строение экологических пирамид – естественной и измененной человеком: истребление орлов приводит к увеличению количества змей, которые уничтожают лягушек; в результате размножается саранча, служившая пищей лягушкам, и поедает растительность; нарушение растительного покрова вызывает эрозию почв

1. *Пирамида чисел* (численностей) – отражает численность отдельных организмов на каждом уровне. Обычно в экологии пирамида численностей употребляется редко, так как из-за большого числа особей на каждом трофическом уровне очень трудно отобразить структуру биоценоза в одном масштабе.

2. *Пирамида биомасс* – соотношение между продуцентами, консументами и редуцентами, выраженное в их массе (общем сухом весе, энергоемкости или другой мере общего живого вещества). Обычно в наземных биоценозах общий вес продуцентов больше, чем консументов. В свою очередь общий вес консументов первого порядка больше, нежели консументов второго порядка, и т. д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой.

Однако зачастую (это касается в основном водных экосистем) можно получить так называемую обращенную пирамиду, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона общая масса его в данный момент может быть меньше, чем у потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).

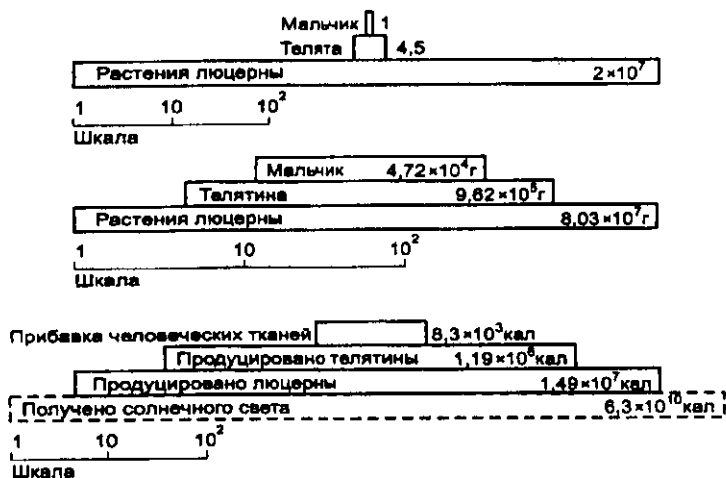
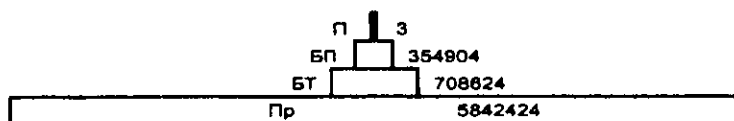
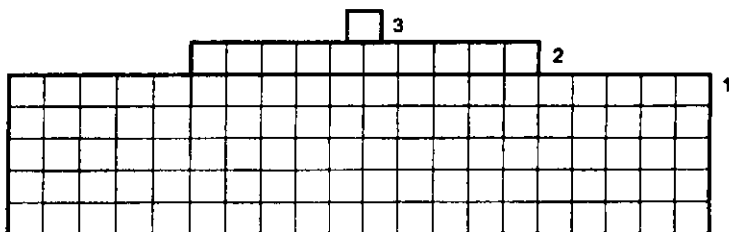


Рис. 29. Пример простой экологической пирамиды (вверху – пирамида чисел, в середине – биомассы, внизу – энергии)



Пр – продуценты (растения)  
БТ – беспозвоночные травоядные  
БП – беспозвоночные плотоядные  
П – позвоночные  
Цифры – число особей

Рис. 30. Пирамида чисел для луга, поросшего злаками (Ф. Дре, 1976)



1 – биомасса зеленых растений  
2 – биомасса растительноядных животных  
3 – биомасса хищных животных

Рис. 31. Пирамида биомасс



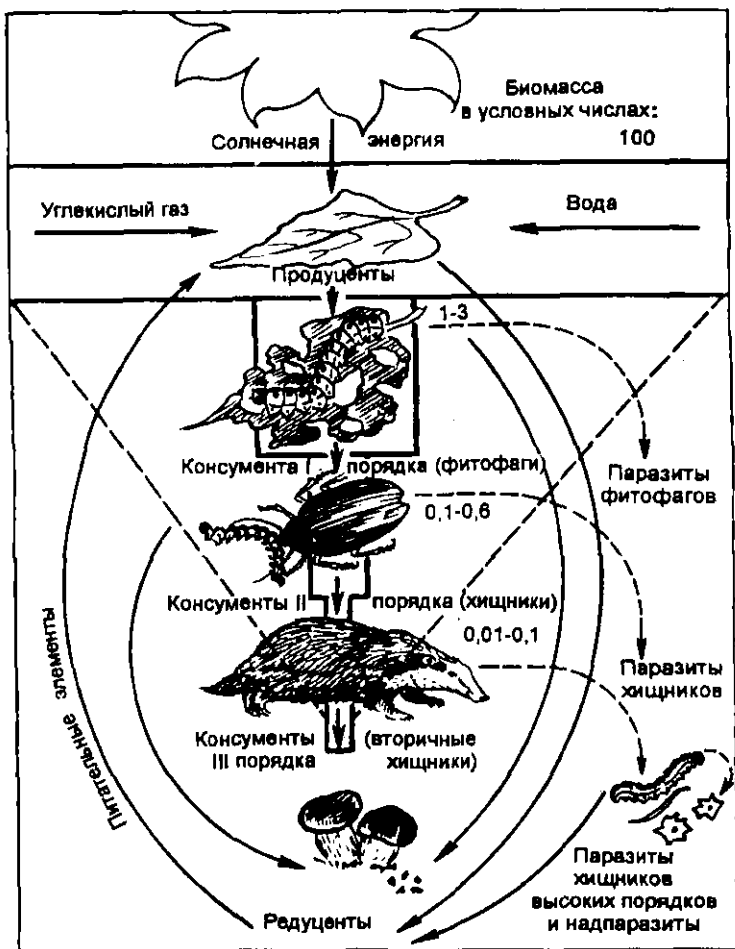
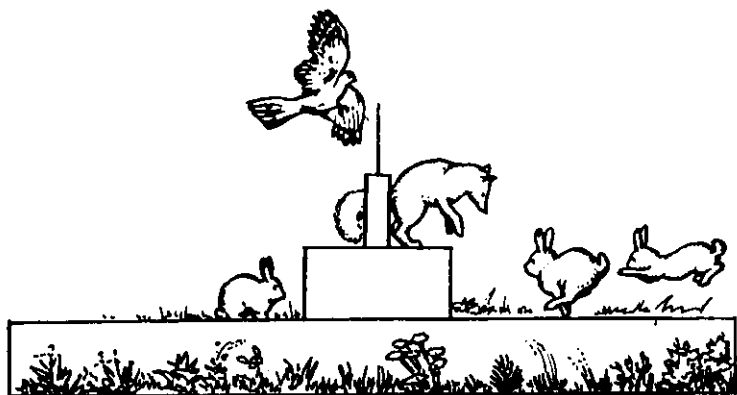
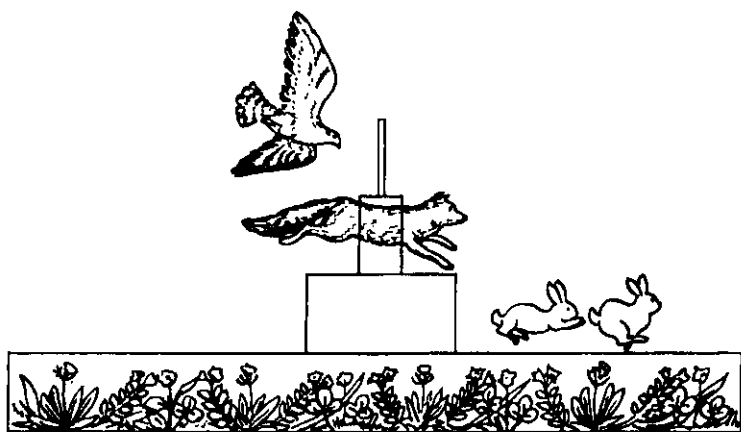


Рис. 32. Трофические уровни в экосистеме и пирамида биомасс (пирамида биомасс на рисунке изменена по отношению к классическому ее изображению – повернута к потоку энергии Солнца зевом продуцентов, что более естественно)

3. *Пирамида энергий* – отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы пищи через пищевую цепь. На структуру биоценоза в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи. Пирамида энергии в отличие от пирамид чисел и биомасс всегда суживается кверху (рис. 33–34).



*Рис. 33.* Экологическая пирамида, отражающая чистую продуктивность на каждом трофическом уровне (в данном случае экологические эффективности трофических уровней, составляющих пирамиду, равны 20, 15 и 10 %)



*Рис. 34.* Пирамида энергий, иллюстрирующая снижение количества энергии по мере перехода от нижних уровней к верхним

Установлено, что максимальная величина энергии, передающаяся на следующий трофический уровень, может в лучшем случае составлять 30 % от предыдущего, а во многих биоценозах, пищевых цепях эта доля передаваемой энергии составляет всего 1 %.

В 1942 г. Р. Линдеман сформулировал закон пирамиды энергий, согласно которому с одного трофического уровня на другой

через пищевые цепи переходит в среднем около 10 % энергии, поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды. Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения. Организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90 % всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности.

Если заяц съел 10 кг растительной массы, то его собственная масса может увеличиться на 1 кг. Лисица или волк, поедая 1 кг зайчатины, увеличивают свою массу уже только на 100 г, или на 1 % от биомассы растений, съеденных зайцем. В случае древесных растений эта доля много ниже из-за того, что древесина плохо усваивается организмами. Для трав и морских водорослей эта величина значительно выше, поскольку у них отсутствуют трудноусвояемые ткани. Однако общая закономерность процесса передачи энергии сохраняется: через верхние трофические уровни ее проходит значительно меньше, чем через нижние. Вот почему большие хищные животные всегда редки, и не существует хищников, которые питались бы волками, — они просто не прокормились бы, настолько волки немногочисленны.

Неравноценность показателей при сопоставлении различных экологических пирамид дала основание Ю. Одуму сформулировать своеобразное «экологическое правило», согласно которому «данные по численности приводят к переоценке значения мелких организмов, а данные по биомассе — к переоценке роли крупных организмов». Поэтому при исследовании трофической структуры биоценоза наиболее подходящим показателем для сравнения любых компонентов биоценоза является поток энергии.

# ЭКОСИСТЕМЫ: ДИНАМИКА И СТАБИЛЬНОСТЬ



Артур Тенсли  
(1871–1955)

Понятие экосистемы является ключевым для каждого, кто стремится узнать и понять, как устроен мир. Экосистемы являются своего рода «кирпичиками», из которых складывается одна большая общая живая система – биосфера. Экосистема – это фундаментальное понятие, обозначающее общность живого и среды его обитания.

Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским ботаником Артуром Тенсли. Тенсли считал, что экосистемы представляют собой основные природные единицы на поверх-

ности Земли. Это не только комплекс живых организмов, но и все сочетание физических факторов. Всюду, где мы наблюдаем отчетливое единство растений и животных, объединенных отдельным участком окружающей среды, мы имеем пример экосистемы.

Под экосистемой в настоящее время понимают любую совокупность совместно обитающих живых организмов и условий их существования (среда обитания), объединенную в единое функциональное целое, возникающую на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Экосистема – основная функциональная единица экологии, представляющая собой единство биотических компонентов с абиотической средой, организованное потоками энергии и биологическим круговоротом веществ (рис. 35). Это фундаментальная общность живого и среды его обитания. Экосистемный уровень организации живого является объектом экологических исследований.

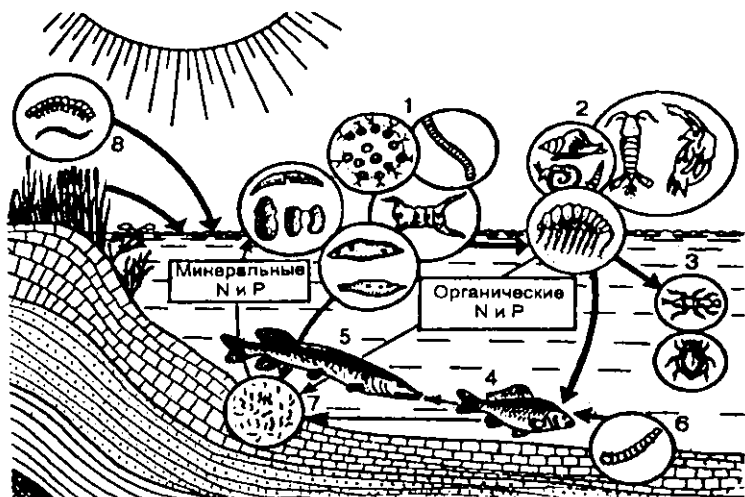


Рис. 35. Экосистема пруда средней полосы

1 – фитопланктон; 2 – зоопланктон; 3 – жуки-плавунцы (личинки и взрослые особи); 4 – молодые карпы; 5 – щуки; 6 – личинки комаров-дергунцов; 7 – бактерии; 8 – насекомые прибрежной растительности

Понятие «экосистема» можно применить к объектам различной степени сложности и разного размера. Это может быть частичка почвы и капля воды, кочка на болоте и само болото, лужа, озеро и океан, луг, лес, Земля в целом. Таким образом, каждая конкретная экосистема может характеризоваться определенными границами (экосистема елового леса, экосистема низинного болота). Однако само понятие «экосистема» является безразмерным, обладает признаком безразмерности, ей не свойственны территориальные ограничения. Обычно экосистемы разграничиваются элементами абиотической среды, например рельефом, видовым разнообразием, физико-химическими и трофическими условиями и т. п. Размер экосистемы не может быть выражен в физических единицах измерения (площадь, длина, объем и т. д.). Он выражается системной мерой, учитывающей процессы обмена веществ и энергии. Поэтому под экосистемой обычно понимается совокупность биотической (живые организмы) и абиотической среды, при взаимодействии которых происходит более или менее полный биотический круговорот, в котором участвуют продуценты, консументы и редуценты. Термин «экосистема» применяется и по отношению к искусственным образованиям, например экосистема парка, сельскохозяйственная экосистема.

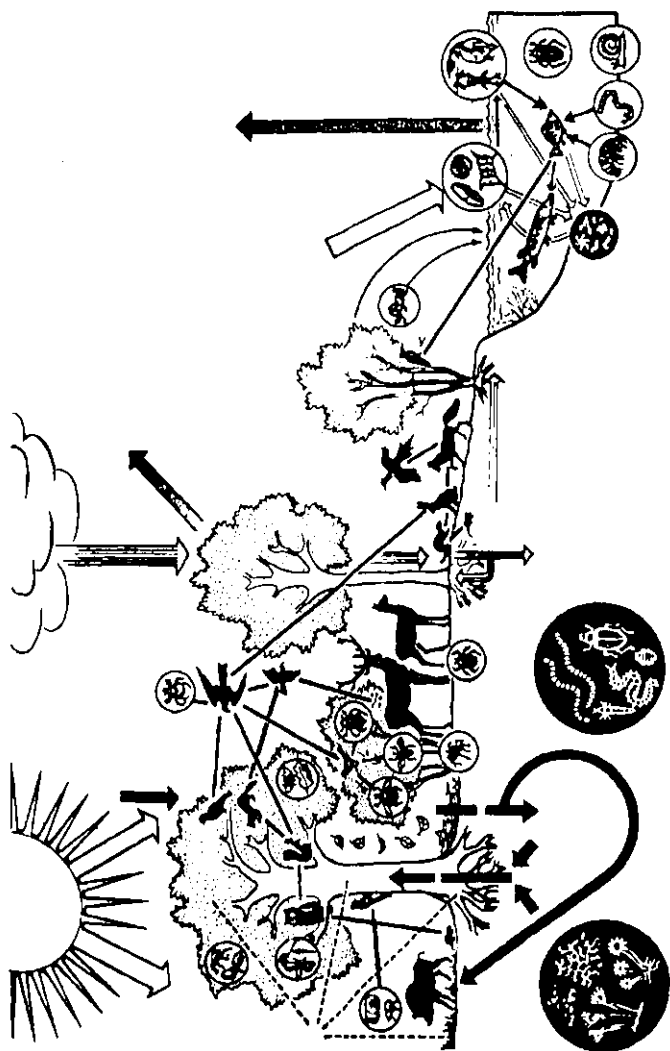


Рис. 36. Схема экологической системы леса Центральной Европы

Экосистемы по их размерности можно разделить на *микро-экосистемы* (гниющий пенек или дерево в лесу, прибрежные заросли водных растений), *мезоэкосистемы* (болото, сосновый лес, ржаное поле) и *макроэкосистемы* (океан, море, пустыня) (рис. 36).

Пространственная разграниченность экосистем в одних случаях может быть выражена относительно отчетливо, в других — границы между ними могут быть только условными. Для эколога, изучающего структуру экосистем, удобно пользоваться естественными границами (например, край болота, опушка леса, берег реки или озера). В любом случае выделение экосистемы правомочно лишь в том случае, если имеет место приток из окружающей среды не только энергии, но и определенного количества вещества.

## СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМЫ

Экосистема характеризует реально существующие сообщества организмов в их активной взаимосвязи с окружающей средой — как живой, так и неживой. Все экологические системы принадлежат к открытым термодинамическим системам, относительно стабильным во времени: они должны получать и отдавать энергию и обмениваться веществом (рис. 37). Их стабильность создается и регулируется взаимодействием круговорота веществ и потоков энергии. Исходя из общей теории систем концепция экосистемы как открытой системы должна учитывать специфику связанных между собой среды на входе и среды на выходе. К примеру, для биосферы нашей Земли средой на входе будет являться энергия, земное и космическое вещество, а на выходе — осадочные биогенные породы и уходящие в космос газы.

При изучении структуры и функционирования экосистем исследователь сталкивается с некоторыми трудностями. Прежде всего это неопределенная пространственно-временная локализация, затем сама природа экосистемы, включающая в себя не только живое население, но и определенные абиотические параметры. Такие абиотические параметры, неживые компоненты являются обязательными структурными составляющими экосистемы. Это могут быть элементы минерального питания, вода и свет для растений, элементы рельефа, служащие убежищем для животных, и т. п.

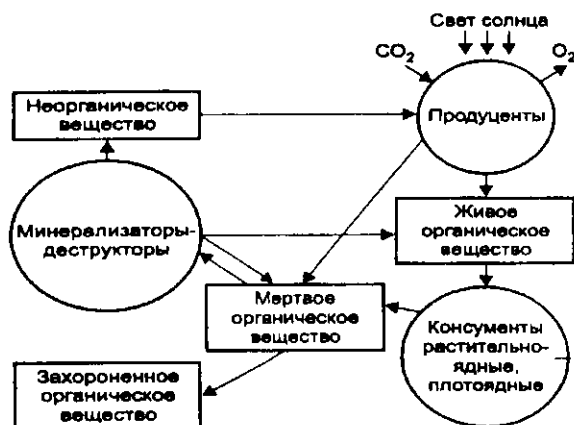


Рис. 37. Функциональная структура экосистемы и потоки вещества в ней

Структура экосистемы как и любой системы не может рассматриваться как простое механическое составляющее подсистем низшего уровня, или как иерархическая структура. В противном случае, поднимаясь вверх по лестнице усложнения структуры от особи и популяции до биоценоза и далее до экосистемы, мы потеряем ту важную составляющую часть ее, которая определяется неживыми компонентами. Обыкновенно структура экосистемы есть нечто большее, нежели сумма всех ее элементов. При определении понятия «экосистема» особенно важно подчеркнуть особую роль, которая принадлежит процессам взаимодействия живых и неживых ее компонентов.

## БИОМЫ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СУХОПУТНЫХ БИОМОВ

Если задаться вопросом, сколько экосистем существует на земном шаре, то, вероятно, ответить на него будет нелегко. И все из-за безразмерности, безранговости экосистем. Если мы пришли к заключению, что отдельной экосистемой может быть и лужа, и кочка на болоте, и песчаная дюна с закрепившейся растительностью, то, очевидно, подсчитать все возможные варианты кочек, луж и т. п. не представляется возможным. Поэтому экологи ре-



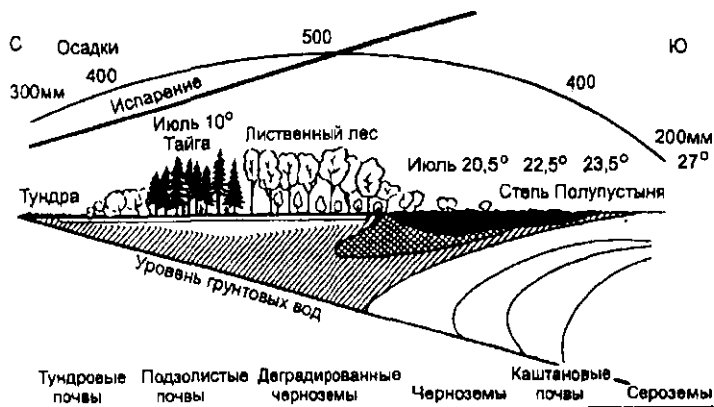


Рис. 38. Схема распределения почвенных, растительных и климатических зон в Восточной Европе (в разрезе с северо-запада на юго-восток вплоть до Прикаспийской низменности)

шили сконцентрировать внимание на крупных сочетаниях экосистем – биомах. По определению Одума, «Биом – термин, обозначающий крупную региональную или субконтинентальную биосистему, характеризующуюся каким-либо основным типом растительности или другой характерной особенностью ландшафта, например биом лиственных лесов умеренного пояса».

Биом – это природная зона или область с определенными климатическими условиями и соответствующим набором доминирующих видов растений и животных (живое население), составляющих географическое единство. Для разграничения наземных биомов, кроме физико-географических условий среды, используют сочетания жизненных форм растений, их составляющих. Например, в лесных биомах доминирующая роль принадлежит деревьям, в тундре – многолетним травам, в пустыне – однолетним травам, ксерофитам и суккулентам (рис. 38).

Итак, термин «биом» применяется для крупных сочетаний экосистем. Может быть, вместо термина «биом» следовало все же оставить термин «экосистема»? Однако экосистема – это территориально целостное образование. А, к примеру, таежные леса северного полушария (Северная Америка и Евразия) не связаны между собой, да и такого понятия, как таежная лесная экосистема, не существует.

Решающим фактором при выделении биомов является особенность растительности того или иного региона. Из всей биосферной биомассы, т. е. суммы животных и растительных форм живого, 99 % приходится на растительную биомассу. Тропический лес покрывает всего около 7 % поверхности суши, но при этом на его зеленую растительность приходится около 43 % всей растительной массы биосферы Земли. В то же время пустыни и тундра занимают около четверти суши, а их растительная биомасса составляет по 1 %. Подсчитано, что леса разных типов на нашей планете содержат почти 1000 млрд т биологической массы, в то время как для всех возделываемых сельскохозяйственных культур этот показатель составляет всего 0,7 млрд т, хотя эти культуры занимают площадь значительно большую, чем тропические леса.

Продвигаясь с севера нашей планеты к экватору, можно выделить девять основных типов сухопутных биомов. Приведем их краткую характеристику.

1. *Тундра*. Расположена между полярными льдами и таежными лесами к югу. Она начинается там, где кончаются леса, и простирается на север до вечных льдов Евразии и Северной Америки (рис. 39). Само слово «тундра» означает «к северу от границы лесов». Характерной особенностью этого биома является малое годовое количество осадков — всего 250 мм в год. Основные лимитирующие факторы — низкая температура и короткий сезон вегетации.

Основная растительность — мхи, лишайники и травы, покрывающие землю в короткий период вегетации. Встречаются низкорослые карликовые древесные растения. Тундра — это, видимо, единственное место на Земле, где грибы вырастают выше деревьев. Из-за скудости растительности и жестких климатических условий крупных животных здесь мало. Основной представитель тундры — северный олень (североамериканская форма его называется карибу), встречаются заяц-беляк, лемминг и полевка (рис. 40, 41). Хищников мало, в основном это песцы.

2. *Тайга* (биом бореальных (северных) хвойных лесов). Протянулась широким поясом по северу Евразии и Северной Америки (Канада и Аляска). Это один из самых обширных по площади биомов. Здесь развиты вечнозеленые хвойные древесные породы: лиственница, ель, пихта, сосна. Из лиственных обычна примесь ольхи, березы, осины. Крупных животных мало, в основном это лоси и олени, но обитает большое количество хищников: ку-

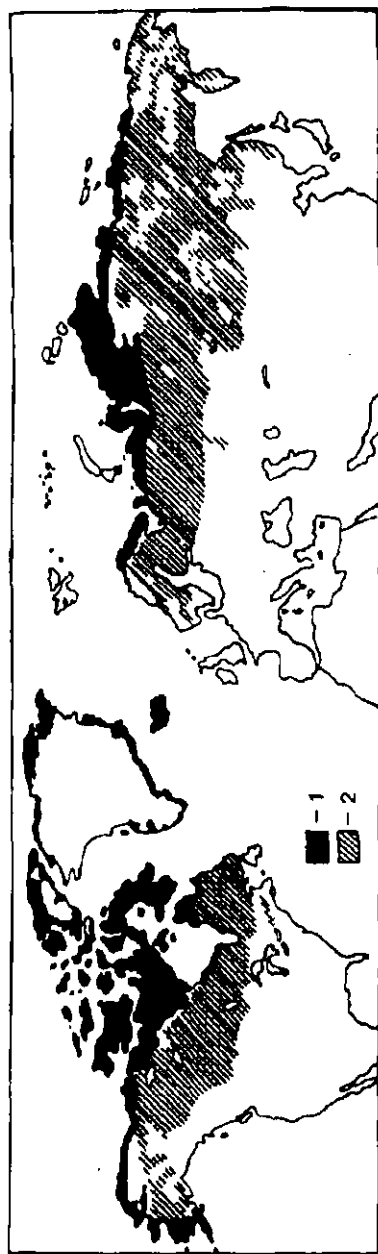
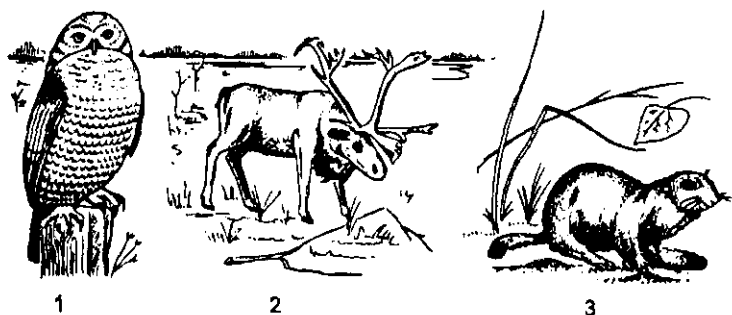
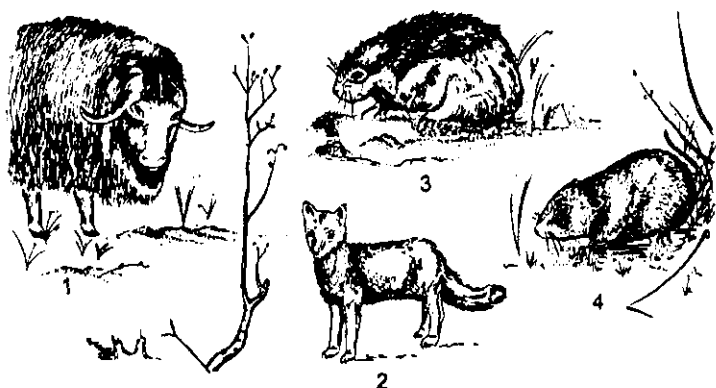


Рис. 39. Область распространения тундры (1) и тайги (2)



**Рис. 40.** Белая сова (1) живет в открытой тундре и питается преимущественно леммингами. Дикий олень (2) зимует в тайге и в лесотундре; весной стада оленей возвращаются в тундру. Суслик (3) обычно запасает корм на зиму, и это спасает его весной, когда пищи еще мало



**Рис. 41.** Характерные обитатели Крайнего Севера, активные и в суровое зимнее время: овцебык (1), песец (2), лемминг (3) и полевка-экономка (4)

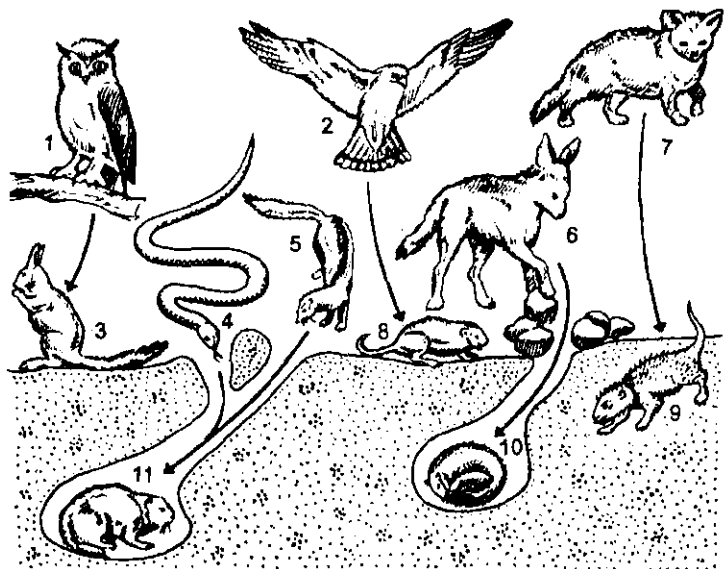
ницы, рыси, волки, россомахи, норки, соболя. Многочисленны грызуны. Резкие климатические контрасты между летом и зимой обуславливают колебание численности животных в годовом цикле. Одним из примеров служит колебание численности зайца-беляка и рыси. Цикл развития хищника зависит от цикла развития жертвы.

**3. Листопадные леса умеренной зоны.** В умеренном поясе, где достаточно влаги (800–1500 мм в год), а жаркое лето сменяется

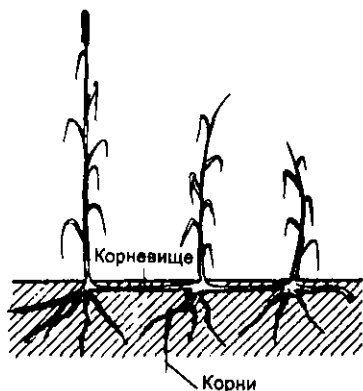
холодной зимой, развились леса определенного типа. К существованию в таких условиях приспособились деревья, сбрасывающие листву в неблагоприятное время года. Это такие деревья, как дуб, бук, клен, граб, орешник. Вперемешку с ними встречаются здесь и хвойные – сосна и ель. Среди представителей животного мира можно отметить кабана, волка, оленя, лисицу, медведя и другие виды, а также дятла, синицу, дрозда, зяблика и др. Данный биом характерен для Центральной Европы, частично Восточной Азии и востока США. Леса этого биома занимают плодородные почвы, что послужило причиной их вырубки и распахивания земель для нужд сельского хозяйства. Современная лесная растительность здесь сформировалась под непосредственным влиянием человека.

4. *Степи умеренной зоны* (рис. 42). Типичным обликом степей является море травянистой растительности, раскинувшееся на большой площади. Степи занимают внутренние пространства евразийского, североамериканского континентов, юг Южной Америки и Австралии. Решающий фактор существования степей – климат. Осадков здесь недостаточно для существования деревьев, но и не настолько мало, чтобы образовались пустыни. В год выпадает от 250 до 750 мм осадков. Обширные степные просторы в Америке называются прериями. Почти все они распаханы и заняты посевами зерновых и культурными пастбищами. Почвы степей с высокими травами (главным образом злаки с обширной корневой системой) богаты гумусом (органическое вещество почвы), поскольку к концу лета травы погибают и быстро разлагаются. В давние времена на обширных степных просторах паслись огромные естественные стада травоядных млекопитающих. В настоящее время здесь можно встретить порой только одомашненных коров, лошадей, овец и коз.

5. *Растительность средиземноморского типа*. Этот биом носит специфическое название – *чапараль*. Его распространение приурочено к областям с мягкими дождливыми зимами и нередко засушливым летом. Впервые этот биом был описан для условий Средиземноморья, затем сходную растительность описали для Мексики, Калифорнии, Южной Америки и Австралии. Преобладает жестколистная растительность с толстыми и глянцевыми листьями. В Австралии такую растительность составляют деревья и кустарники из рода эвкалипт. Из животных встречаются кролики, древесные крысы, бурундуки, некоторые виды оленей. В этом биоме важную роль играют пожары, которые с одной стороны благоприятствуют росту трав и кустарников (в почву возвращаются элементы питания), а с другой – создают естественный барьер вторжению пустынной растительности (рис. 43).



**Рис. 42.** В пищевой цепи степных обитателей желанной добычей для множества хищников являются грызуны (3 – долгоног, 8 – длинношерстные хомяки, 9 – голый землекоп, 10 – земляная белка, 11 – пескорой). Ночью их с помощью слуха разыскивает филин (1). Днем сверху может напасть пустельга (2), а в норе достанут змеи (кобра – 4), хорьки или ласки (5). Чепрачный шакал (6) выслеживает грызунов с помощью чуткого носа, ушастая лисица (7) больше надеется на свой слух. Защитой от врагов мелким зверькам служит развитая система оборонительных реакций, а главное – высокая плодовитость



**Рис. 43.** Многие злаки имеют сильно разветвленное корневище, лишь верхняя часть которого находится близ поверхности почвы. Эти растения способны быстро отрастать после уничтожения пожаром или пасущимися животными

6. *Пустыни*. Если мы возьмем в руки агроклиматическую карту мира, то при ее рассмотрении не без удивления заметим, что значительная часть суши на земном шаре занята пустынями, полупустынями и засушливыми зонами. Биом пустынь характерен для засушливых и полузасушливых зон Земли, где выпадает менее 250 мм осадков. Пустыни занимают около одной пятой поверхности суши (рис. 44, 45). Среди них выделяют:

- пустыни, где годами не выпадает ни одного дождя (центральная Сахара, пустыни Такла-Макан в Центральной Азии, Атакама – в Южной Америке, Ла-Жойа – в Перу и Асуан – в Ливии). В среднем такие пустыни получают около 10 мм осадков в год;
- пустыни, где выпадает менее 100 мм осадков в год (растительность здесь сосредоточена вдоль русел рек, наполняющихся только после дождя);
- пустыни, где выпадает от 100 до 200 мм осадков в год (возделывать культуры здесь невозможно, но многолетняя растительность встречается повсюду).

Среди пустынь различают холодные (пустыня Гоби) и жаркие (Сахара, Калахари и др.). Типичный пустынный ландшафт – обилие голого камня или песка с редкой растительностью. Поверхность обширной пустынной области Сахары только на 20 % занята песками, а в остальном это галька, скалы, камни и солончаки. Интересно, что вплоть до 2 тыс. лет назад над областью ненешней Сахары выпадали дожди, росли травы и паслись стада типично африканских животных. Одна из гипотез, объясняющих появление пустыни, следующая. Высокая температура на экваторе вызывает мощное испарение над океаном, что ведет к выпадению обильных дождей в тропической зоне. Попутно к экватору стягиваются воздушные массы из прилегающих к нему с обеих сторон зон, лежащих вдоль тропиков. Для компенсации огромных воздушных масс, скапливающихся и поднимающихся вдоль экватора, в этих прилегающих зонах воздушные массы опускаются. По мере опускания температура их возрастает и воздух становится суше. В связи с этим возникающий ток воздуха уносит всю влагу из зон, окружающих экваториальную.



**Рис. 44.** Распределение по земному шару главных пустынь (годовое количество осадков менее 25 см) и влажных областей (годовое количество осадков более 150 см)



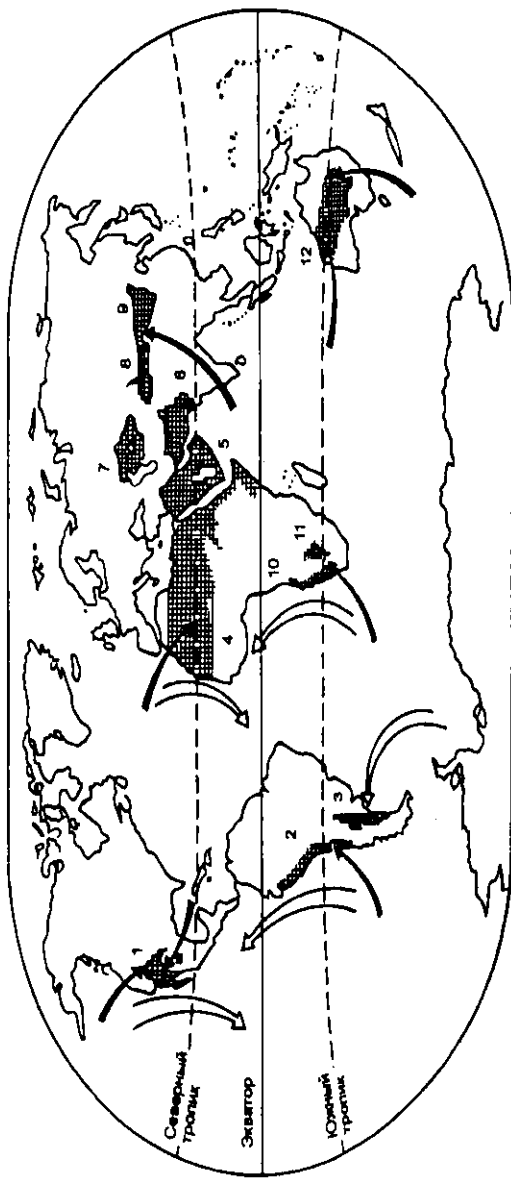


Рис. 45. Распространение пустынь на Земле:

1 – североамериканские пустыни; 2 – Атакама; 3 – засушливые районы Патагонии; 4 – Сахара; 5 – Аравийская пустыня; 6 – индо-иранские пустыни; 7 – средиземноморские пустыни; 8 – Такла-Макан; 9 – Гоби; 10 – Намиб; 11 – Калахари; 12 – австралийские пустыни.

Светлые стрелки – холодные морские течения, черные стрелки – направление господствующих сильных ветров

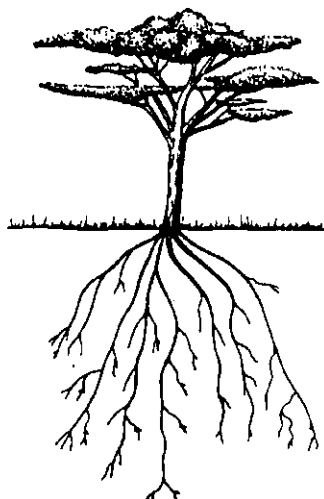
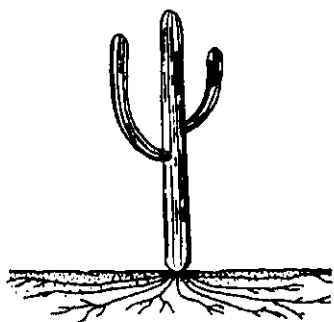


Рис. 46. Приспособления растений пустынь к недостатку влаги (гигантский канделябровидный кактус запасает воду в своих тканях; корни акации глубоко проникают в почву и добывают воду из нижних горизонтов)

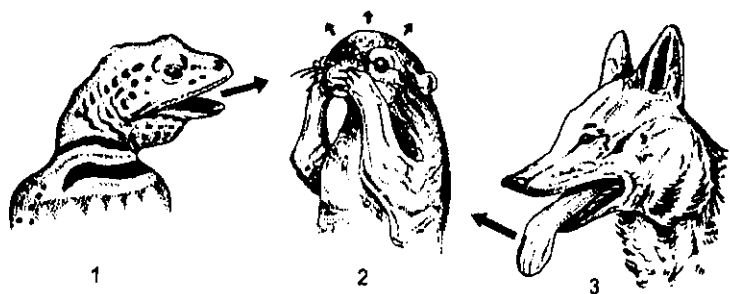


Рис. 47. Защита обитателей пустынь от перегрева в жару: пресмыкающиеся (1) и птицы отдают тепло через кожу за счет испарения со слизистой ротовой полости; млекопитающие могут использовать разные возможности: американский антилоповый суслик (2) натирается слюной, а койот (3) «остывает» с помощью учащенного дыхания и высунув язык

В жестких условиях пустынь распространены виды растений и животных, приспособившихся к засухе. Пустынные растения относятся большей частью к группе суккулентов (рис. 46). Это различные кактусы и молочаи. Много однолетников. В холодных пустынях обширные площади заняты растениями, относящимися к группе солянок (виды семейства маревых).

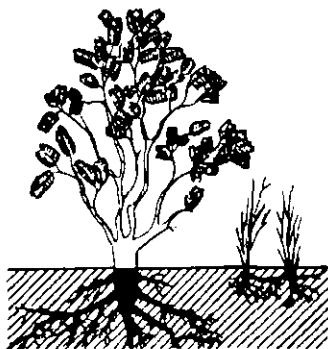
Животные по-разному приспосабливаются к жизни в пустыне (рис. 47). Они большей частью довольно малы, что помогает им во время жары спрятаться под камнями или в норах. Пустынные животные выживают, поедая запасавшие воду растения. Из крупных животных следует отметить верблюда, который может долгое время обходиться без воды при условии периодического ее «запасания». А вот такие пустынные животные, как тушканчик и кенгуровая крыса, могут существовать без воды неопределенно долгое время, питаясь лишь сухими семенами.

7. *Тропические саванны и лугопастбищные земли.* Данный биом распространен на довольно бедных почвах, что послужило причиной относительной его сохранности. Биом располагается по обеим сторонам от экваториальной зоны между тропиками. Наиболее характерные саванны расположены в Центральной и Восточной Африке, хотя они встречаются также и в Южной Америке, и в Австралии. Типичный пейзаж саванны — высокая трава с редко стоящими деревьями из родов акациевых, баобаб, древовидные молочаи (рис. 48). Здесь наблюдается один или два продолжительных сухих периода, когда возникают пожары, играющие ту же роль, что и в чапарале. По разнообразию видов растений саванна уступает такому биому, как тропическое редколесье, о котором речь пойдет ниже. Растения вынуждены здесь приспосабливаться к сухим сезонам и пожарам (рис. 49).

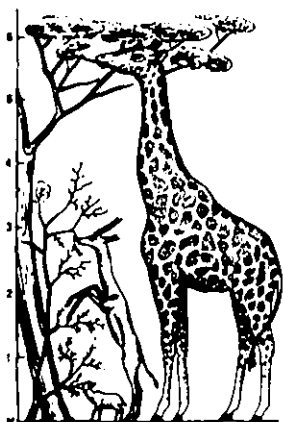
Что же касается животных, то здесь картина иная. В саваннах Африки пасется такое количество копытных, которое не встречается ни в одном другом биоме (рис. 50). Ярким примером биота саванны может служить национальный парк Серенгети в Танзании (Африка), расположенный в громадном кратере потухшего вулкана (площадь около 800 тыс. га). На площади парка обитают около 2 млн антилоп-гну, 2 млн газелей и зебр, десятки тысяч буйволов, антилоп, жирафов, слонов, львов, леопардов, множество птиц. Общее количество животных достигает 4 млн голов. Такое количество животных на относительно небольшой территории и сейчас впечатляет, однако совсем недавно, около ста лет назад, оно было в десять раз больше. Из-за необузданных appetитов охотников и браконьеров многочисленные стада диких животных в Серенгети изрядно поредел.



**Рис. 48.** Одно из типичных растений саванн – баобаб. В своем толстом стволе он может запастись огромным количеством воды



**Рис. 49.** Огонь не только губит растения, но и может способствовать их росту. На верхнем рисунке изображен североамериканский кустарник из семейства бобовых, который обычно «душит» злаки. После пожара злаки оправляются быстрее, чем кустарник, и успевают пышно разрастись (нижний рисунок)



**Рис. 50.** Млекопитающие саванны используют в пищу растительность всех ярусов, так что каждый вид добывает себе пропитание без особой конкуренции. Слева направо: дикдик, жирафовая газель и жираф

8. *Тропическое, или колючее, редколесье.* Это в основном светлые редкостойные лиственные леса и колючие, причудливо изогнутые кустарники. Данный биом характерен для Южной, Юго-западной Африки и Юго-западной Азии. Монотонно-однообразная панорама кое-где украшена величественными баобабам. Лимитирующий фактор здесь – неравномерное распределение осадков, хотя в целом их выпадает достаточное количество.

9. *Тропические леса.* Биом занимает тропические области Земли в бассейнах Амазонки и Ориноко в Южной Америке, бассейны Конго, Нигера и Замбези в Центральной и Западной Африке, Мадагаскар, Индо-Малайскую область и Борнео – Новую Гвинею. Тропики обычно называют джунглями. По разнообразию жизни на нашей планете ничто не может сравниться с тропическими дождевыми лесами. Один гектар экваториального леса может вместить 42 000 видов насекомых, 750 видов деревьев и 1500 разновидностей других жизненных форм. Число видов рыб в Амазонке больше, чем во всем Атлантическом океане.

Для тропических лесов характерны обильные, постоянно выпадающие осадки и тепло без выраженных сезонных колебаний. Средняя температура в течение года составляет здесь 26 °С, средняя величина годовых осадков – 230–240 см. Иногда годовые осадки достигают 762 см, как, например, в департаменте Чоко (Колумбия). Относительная влажность в лесу составляет в среднем 76 %.

Растительность тропического леса предстает перед путешественником сплошной стеной растений, поднимающихся на высоту до 75 м (рис. 51). Верхний ярус представлен гигантскими деревьями. Их кроны бросают тень на площадь до четверти гектара. Множество эпифитов и лиан переплетают стволы деревьев. Лазящие растения достигают в длину 300 м и связывают древесные кроны друг с другом. Фауна тропических лесов еще богаче. Здесь обитает по меньшей мере 2,5 млн (по некоторым оценкам 5 млн) видов различных представителей мира животных, подавляющее большинство которых приходится на насекомых.

Главной особенностью тропических лесов является то, что произрастают они на крайне бедных почвах. Верхний слой почвы не превышает 5 см на склонах. Под ним обычно лежит красная латеритная глина, лишенная питательных веществ. В некоторых районах Амазонии и острова Калимантан джунгли удивительным образом растут прямо на песке. Почти все минеральные и органические вещества в биоме тропических лесов сосредоточены в самой растительности и циркулируют в высокоэффективной замкнутой системе. Вырубка лесов ведет к ее нарушению. Со-



*Рис. 51.* Ярусное строение тропического дождевого леса. На рисунке изображен лес на участке длиной 20 м и шириной 50 м. Растущие на этих 100 м<sup>2</sup> деревья и пальмы весят около 10 т, сюда следует добавить еще около 1 т мертвой древесины и опавшей листвы. По расчетам, животные, приходящиеся на такой кусочек девственного леса, весят всего 2–3 кг

гласно оценкам ареал тропических лесов ежегодно сокращается на 11–15 млн га. Ежегодно с лица Земли исчезает 120 000 км<sup>2</sup> тропического леса. Если не будет радикальным образом изменен нынешний характер эксплуатации тропических лесов и землепользования, то через 50 лет от них мало что останется. Это приведет к резкому обеднению разнообразия жизни на Земле и вымиранию миллиона видов. В наших силах еще остановить величайшее биологическое бедствие из когда-либо поражавших биосферу.

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

Лучистая энергия Солнца, усваиваемая зелеными автотрофными растениями, превращается в энергию химических связей синтезируемого вещества. Скорость фиксации солнечной энергии определяет продуктивность сообществ. Основным показателем продуктивности — биомасса организмов (растительных и животных), составляющих экосистему. Биомасса — выраженное в единицах массы или энергии количество живого вещества организмов, приходящееся на единицу площади или объема.

Продуктивность автотрофных организмов представляет собой *первичную продуктивность*. Продуктивность представителей других трофических уровней составляет *вторичную продуктивность*.

Первичной валовой продукцией называют суммарную продукцию фотосинтеза. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. При этом часть энергии может идти на поддержание жизнедеятельности (дыхание) самих производителей продукции — растений. Если из валовой продукции изъять ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание, то получится чистая первичная продукция. Ее можно легко учесть. Достаточно собрать, высушить и взвесить растительную массу, например при уборке урожая.

В природных экосистемах дыхание уменьшает продуктивность более чем наполовину. По мере старения растения доля потребляемой на дыхание энергии растет.

Зеленые растения могут перерабатывать от 1 до 5 % получаемой энергии Солнца. Животные, питающиеся растениями, для образования биомассы своего тела используют всего 1 % энергии, содержащейся в растительном материале. Из всех животных наиболее эффективно использует (преобразует) энергию домашняя свинья. В мясо и жир превращается до 20 % потребленной ею энергии.

Несмотря на то что растения активно поглощают солнечный свет, КПД этих маленьких зеленых фабрик невелик. К примеру, вся продукция хлебного поля в пересчете на сухое вещество будет равняться 8–10 т/га. В широколиственном лесу выход продукции еще меньше — 4–5 т/га. Эта величина соответствует примерно 50 млн ккал в год.

Экологи давно пытались оценить первичную продукцию земного шара. Человека всегда волновала проблема увеличения про-

изводительности растительной биомассы. С одной стороны, нужно было знать достоверные цифры продуктивности зеленого покрова планеты, а с другой – попытаться прогнозировать увеличение выхода продукции в результате применения усовершенствованных технологий выращивания и улучшения посадочного материала. Численность человечества растет, а плодородной земли больше не становится. Поэтому увеличение КПД наших зеленых друзей является наиболее насущной проблемой при решении первейших задач жизнеобеспечения человека.

В таблице 6 приведен один из вариантов расчета первичной продукции земного шара на основании классических исследований П. Дювиньо.

Экосистема	Поверхность, млн км <sup>2</sup>	Выход фотосинтеза, %	Продуктив- ность, т/(га · год)	Общая продуктив- ность органического вещества, млрд т/год
Леса	40,7	0,38	5	20,4
Степи	25,7	0,1	1,5	3,8
Пашни	14,0	0,25	4	5,6
Пустыни	54,9	0,01	0,2	1,1
Антарктида	12,7	0	0	0
Океан	363	0,05	0,8	30
Всего:	511			60,9

Таким образом, экосистема океана дает половину всей продуктивности планеты, леса – третью часть, а пашни – около одной десятой. Необходимо отметить, что в приведенных данных в мировой литературе могут быть разночтения, поскольку авторы пользуются разными методиками определения продуктивности. Например, американские экологи оценивают первичную продукцию земного шара цифрой 100 млрд т сухого органического вещества в год. Но, несмотря на некоторые различия в показателях, общие закономерности распределения первичной продукции по основным биомам легко можно представить.

Что касается вторичной продукции экосистем, то при ее подсчете производят вычисления отдельно для каждого трофического уровня, потому что при движении энергии от одного трофического уровня к другому она прирастает за счет поступления с предыдущего уровня. При изучении общей продуктивности экосистемы ее нельзя оценить простой арифметической суммой первичной и вторичной продукции. Дело в том, что прирост вторич-



ной продукции всегда происходит не параллельно росту первичной, а за счет уничтожения какой-то ее части. Происходит как бы изъятие, вычитание вторичной продукции из общего количества первичной. Поэтому оценку продуктивности экосистем всегда производят по первичной продукции. Если оценить соотношение первичной и вторичной продукции, то первая окажется во много раз больше второй. В целом вторичная продуктивность колеблется от 1 до 10 % в зависимости от свойств животных и особенностей поедаемого ими корма.

## **ЦИКЛИЧЕСКИЕ И НАПРАВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ**

Экосистемы непрерывно подвержены изменениям. Непрерывный поток энергии и питательных веществ постоянно влияет на их состояние. Одни виды, постепенно отмирая, уступают место другим. Порой такие изменения трудно заметить — настолько растянуты во времени динамические процессы. Внутри экосистем постоянно протекают процессы деструкции и восстановления. Старые деревья отмирают, падают и перегнивают, а рядом покоящиеся до поры до времени в почве семена начинают прорастать, и начинается новый цикл развития жизни.

Такие постепенные процессы изменения экосистем могут носить иной характер в случае катастрофических воздействий на них. Если биоценоз разрушается, например при воздействии урагана, пожара или рубке леса, то его восстановление происходит медленно.

Развитие (изменение) экосистемы под воздействием сил извне и внутренних противоречий ее развития в экологии носит название динамики экосистемы. Экологические исследования динамики проводились в основном на растительных сообществах, или фитоценозах, и обычно их считают приоритетом ботаников. Это не случайно, так как растения создают наибольшую биомассу на нашей планете и определяют физиономичность биоценозов. Кроме того, из-за оседлости растений их нетрудно исследовать: можно перечислить, подсчитать растения и определить довольно точно обилие видов и их изменения. При этом исследуются разные типы изменений растительности, которые относятся к динамическим сменам.

Основные принципиальные типы изменения биоценозов можно свести к следующим:

1. **Флюктуации** (от лат. *Fluctuatio* – колебания) – сравнительно краткосрочные изменения, когда сообщества без смены флористического состава отклоняются от некоего среднего состояния вследствие сезонных и погодных изменений климата, а также изменения динамики животного компонента экосистемы либо способов их использования. Флюктуации – это изменения, происходящие в фитоценозах по годам или более длительным периодам, связанные с неодинаковыми метеорологическими и гидрологическими условиями отдельных лет, особенностями жизненного цикла некоторых видов растений, а также с различиями в воздействиях животных.

Флюктуации обычно связаны со сменой сезонов года (сезонные флюктуации) либо бывают вызваны непостоянными внешними факторами, меняющимися каждый год (разногодичные флюктуации). Обычно флюктуации вызываются колебаниями климата, различиями во влажности почвы либо ритмичностью развития растительных или животных компонентов экосистемы. Причиной флюктуаций может быть и человек, неравномерно – количественно и во времени – использующий растительность.

Примером флюктуации может быть развитие растительности наших лесов (в основном лиственных) в разное время года. Так, войдя в березняк, осинник или дубраву ранней весной, когда еще не распустились листья на деревьях, можно увидеть целые картины красиво цветущих растений, которые в обиходе называют подснежниками. Нужно сказать, что подснежниками по традиции называют все ранневесенние растения наших лесов, но это подснежники не настоящие. Настоящий подснежник (*Galanthus nivalis*) – растение семейства амариллисовых (родственник комнатному амариллису) растет в широколиственных лесах Карпат и на Кавказе. Наши же «подснежники» – это группа растений, которую составляют такие виды из семейства лютиковых, как ветреница дубравная (*Anemonoides nemorosa*), чистяк весенний (*Ficaria verna*), перелеска благородная (*Hepatica nobilis*), прострел раскрытый, или сон-трава (*Pulsatilla patens*), хохлатка плотная, или х. Галлера (*Corydalis solida*) и некоторые другие. Эти растения разноцветными пятнами покрывают почву в весеннем лесу: белыми – из ветрениц, голубыми – из перелесок и сон-травы, желтыми – из чистяка, лиловыми – из хохлаток. Их развитие являет собой пример наиболее полного использования условий местообитания. Снег уже сошел, света и тепла достаточно, а вегетация основных растений еще не начиналась. Такие растения,

развивающиеся только весной на короткий период, называются эфемероидами. Если бы не было эфемероидов, благоприятное время использовалось бы биоценозами не полностью. Но принцип «в природе не бывает пустот» срабатывает и тут.

К тому времени, когда на деревьях распускаются листья и в лесу становится сумрачно, эфемероиды уже полностью заканчивают цикл развития. Они исчезают из состава травостоя и сохраняются в почве до следующей весны в виде луковиц, корневищ, клубней и т. п. И если вы войдете в тот же лес в конце мая – начале июня, то не узнаете этого места. Здесь поднялись другие травы, и уже ничто не говорит о недавнем буйном цветении «подснежников».

Это сезонная флюктуация. Если же понаблюдать за одним и тем же участком, скажем, мшистого соснового леса в сухой и влажный годы, то также обнаружится заметное различие в травостое. В сухой год, когда влаги недостаточно, многие травянистые растения не могут развиваться в полную силу. Под ногами трещат и рассыпаются в пыль лишайники, хорошо развиты мхи, а вот трав не много, они не высоки и многие сохнут на корню. Во влажный год в этом же лесу на первый план выходят именно травянистые растения. Они могут достигать высоты 1 м (некоторые злаки, золотарник обыкновенный *Solidago virgaurea* и другие). Лишайниковый покров в дождливые годы обычно плохо выражен. Перед нами как бы другой лес, а между тем это лишь временное изменение его структуры. Вместе с изменением погодных условий года изменяется и растительность. Это *разногодичная флюктуация*.

*Зоогенные флюктуации* (влияние животных) можно наблюдать в случае непосредственного воздействия популяции животных. К примеру, часто в лесах, особенно в дубравах, можно видеть порою кабанов на большой площади. Естественно, что нижние ярусы растительности здесь будут повреждены. Это циклическая флюктуация с циклом в несколько (до 10) лет. По прошествии времени растительный биоценоз возвратится к состоянию, близкому к исходному.

2. *Сукцессии* (от лат. *successio* – преемственность, наследование) – постепенные необратимые (реже обратимые) направленные изменения биоценозов, протекающие в результате внешних и внутренних причин на одной и той же территории под влиянием природных факторов или воздействия человека. Сукцессию можно определить также как несезонную, направленную и непрерывную последовательность появления и исчезновения популяций разных видов в определенном местообитании (рис. 52).



Рис. 52. Экологическая сукцессия на примере смен фитоценозов в южной тайге

Термин «сукцессия» впервые употребил французский ботаник Де Люк в 1806 г. для обозначения смен растительности. Он является одним из ключевых терминов современной экологии. Классическая теория сукцессий была разработана американским ботаником Фредериком Клементсом. Этот тип динамики всегда находился в центре внимания экологов, и проблеме сукцессий посвящена обширная литература.

Любое новое местообитание – обнажившийся песчаный берег реки, застывшая лава потухшего вулкана, лужа после дождя – сразу оказывается ареной заселения новыми видами. Характер развивающейся растительности зависит от свойств субстрата. Это же можно сказать и о животных, заселяющих новые территории. Постепенно поселившиеся организмы изменяют среду обитания, например затеняют поверхность или изменяют ее влажность. Следствием такого изменения среды служит развитие новых, устойчивых ко вновь созданным условиям видов и вытеснение предыдущих. С течением времени формируется новый биоценоз с заметно отличающимся от первоначального видовым составом.

**3. Эволюция** (от лат. *evolutio* – развертывание) – это изменения, аналогичные сукцессии, большей частью необратимые, с формированием новых типов сообществ за счет видообразования или занесения новых для данных условий видов. В ходе эволюции число видов может возрастать. К эволюции относится и изменение сообществ при исчезновении видов. Обычно новых видов в биоценозах появляется больше, чем исчезает, поэтому в целом их разнообразие увеличивается. Процесс эволюции осуществляется в геологическом масштабе десятков и сотен тысяч лет. Он налагается на природные сукцессии и является их следствием. Эволюция сообществ – это главным образом результат эволюции видов, входящих в их состав.

# **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СУКЦЕССИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СУКЦЕССИЙ. ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКОСИСТЕМ**

Напомним, что под экологической сукцессией понимается последовательное изменение во времени видовой структуры биоценоза. Наблюдать сукцессию можно на заброшенных полях разного возраста, песчаных дюнах или песчаных морских и речных берегах. Если рассматривать сукцессию на брошенных землях, которые не используются в сельском хозяйстве, то можно заметить, что бывшие поля быстро покрываются разнообразными однолетними растениями. Сюда же попадают семена древесных пород: сосны, ели, березы, осины. Они легко и на большие расстояния разносятся ветром, а также животными. Попад на слабоздерненную почву, семена начинают прорастать, причем в наиболее благоприятном положении оказываются мелколиственные породы (береза, осина). Хвойные обычно гибнут из-за бурного развития трав, под влиянием разлагающегося опада или от обилия минеральных элементов.

Вначале изменения происходят быстро, затем скорость сукцессии снижается по мере появления растений, растущих более медленно. Всходы березы образуют густую поросль, которая затеняет почву, и даже если вместе с березой прорастают семена ели, ее всходы, оказавшись в весьма неблагоприятных условиях, сильно отстают от березовых. Светолюбивая береза является серьезным конкурентом ели, к тому же специфические биологические особенности дают ей преимущества в росте. Березу называют «пионером леса», так как она почти всегда первой поселяется на нарушенных землях и обладает широким диапазоном приспособляемости.

Березки в возрасте 2–3 лет могут достигать высоты 100–120 см, тогда как елочки в том же возрасте едва дотягивают 10 см. Уже к 8–10 годам березы формируют устойчивое березовое насаждение высотой до 10–12 м. Среди сквозистого полога березы начинает подрастать и ель, образуя подрост разной степени густоты. Перемены происходят и в нижнем, травяно-кустарничковом ярусе. По мере смыкания крон березы светолюбивые виды, характерные для начальных стадий сукцессии, постепенно начинают выпадать, уступая место теневыносливым.

Изменения касаются и животного компонента биоценоза. На первых стадиях поселяются майские хрущи, березовая пяденица,

затем появляются многочисленные птицы: зяблик, щегол, пеночка. Поселяются мелкие млекопитающие: землеройка, крот, еж. Изменение условий освещения начинает благоприятно сказываться на росте молодых елочек. Если на ранних этапах сукцессии прирост елочек составлял 1–3 см в год, то по прошествии 10–15 лет он достигает уже 40–60 см. Спустя примерно 50 лет ель догоняет березу и образуется смешанный елово-березовый древостой. Из животных появляются зайцы, лесные полевки, мыши, белка. Заметны сукцессионные процессы и среди птичьего населения. Появляются иволги, питающиеся гусеницами.

Смешанный елово-березовый лес постепенно сменяется лесом еловым. Ель перегоняет в росте соперницу-березу, создает значительную тень, и светолюбивая белоствольная красавица, не выдержав конкуренции, постепенно выпадает из древостоя. Таким образом происходит сукцессия, при которой вначале березовый, затем смешанный елово-березовый лес сменяется чистым ельником. Естественный процесс смены березняка ельником длится более 100 лет. Именно поэтому процесс сукцессии иногда называют вековой сменой. Цепь стадий в развитии живых компонентов биоценоза называется сукцессионным рядом.

В качестве примеров сукцессий можно привести процесс изменения растительности на песчаных дюнах. Вначале здесь поселяются многолетние растения, способные переносить засушливые условия. Они укрепляют поверхность дюны и вносят в песок органические вещества. Вслед за многолетниками появляются однолетники. Их рост и развитие способствуют обогащению субстрата органическим материалом, так что постепенно создаются условия, подходящие для произрастания таких растений, как ива, толокнянка, чабрец. Эти травы предшествуют появлению проростков сосны, которые закрепляются здесь и спустя много поколений образуют сосновые леса на песчаных дюнах.

Еще одна классическая сукцессия – образование торфяного болота при зарастании озера (рис. 53). Изменение растительности на болотах начинается с того, что края водоема зарастают водными растениями. Вблизи берегов сплошным ковром разрастаются влаголюбивые виды растений (камыш, тростник, осока). Постепенно создается более или менее плотный слой растительности на поверхности воды. Отмершие остатки растений постепенно накапливаются на дне водоема. Из-за малого количества кислорода в застойных водах эти остатки медленно разлагаются и постепенно превращаются в торф. Начинается формирование

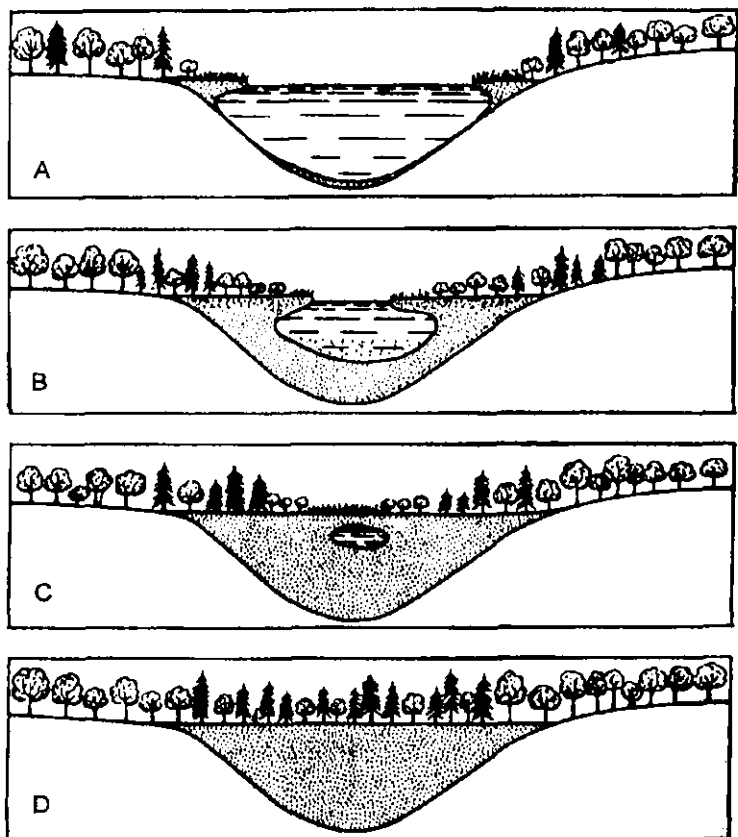


Рис. 53. Сукцессия при зарастании озера: растительность сплавин продвигается в направлении от берегов к центру водной поверхности (А), озеро стареет (В и С); спустя несколько тысяч лет после заполнения озера разложившимся органическим веществом (торфом) оно зарастет лесом (D)

болотного биоценоза: появляются сфагновый мох, на сплошном ковре которого поселяются клюква, багульник, голубика, да кое-где сосенки, образующие редкую поросль тощих деревьев. Так с течением времени постепенно образуется биоценоз верхового болота.

Все сукцессии можно разделить на две большие группы. Это прежде всего *аллогенные сукцессии* (от греч. *allos* – иной, другой и *genesis* – происхождение), причины которых определяются внешними влияниями (природными или антропогенными), изме-

няющими условия среды. Таким образом, при аллогенной сукцессии источник изменения биоценоза находится в среде. Движущие силы сукцессии имеют направленный характер:

среда → растительность

К такому типу сукцессий можно отнести, например, переход от эвтрофного озера (обогащенного питательными веществами) к болоту или наземному сообществу.

Сукцессии, происходящие в результате изменения условий среды самими сообществами в отсутствие постепенного изменения абиотических факторов, называются *автогенными* (от греч. *autos* – сам, *genesis* – происхождение). В данном случае источником смены служит сама растительность, которая посредством изменения среды своего существования меняет свою структуру. Происходит как бы «самоотрицание» растительности. Схематично этот процесс можно представить следующим образом:

растительность → среда → растительность

Автогенные сукцессии могут быть *первичными*: развитие сообществ идет во вновь образовавшихся местообитаниях, на новых субстратах, где растительность ранее отсутствовала, – на песчаных дюнах, застывших потоках лавы, на породах, обнажившихся в результате эрозии или отступления льдов (рис. 54).

Интересным примером первичной сукцессии может служить заселение живыми существами острова Кракатау, расположенного между островами Суматра и Ява в Индонезии. Ранним августовским утром 1883 г. на Кракатау взорвалась вершина вулкана. В воздух было поднято  $24 \text{ км}^3$  скал. Горячий пепел засыпал территорию площадью свыше  $800 \text{ тыс. км}^2$ . От острова осталась только гора, покрытая пеплом. Интенсивные зори как результат уменьшения прозрачности атмосферы наблюдались здесь в течение нескольких лет. Все живое было погребено под потоками горячей лавы. Не осталось никаких признаков жизни. Даже мельчайшие споры и семена растений оказались в плену разбушевавшейся стихии. Перед учеными открылась перспектива изучения развития жизни при естественном заселении субстрата голых скал, возникшего после извержения.

Процесс заселения на острове шел несколькими путями. Большая часть растений и животных попали сюда с Явы и Су-



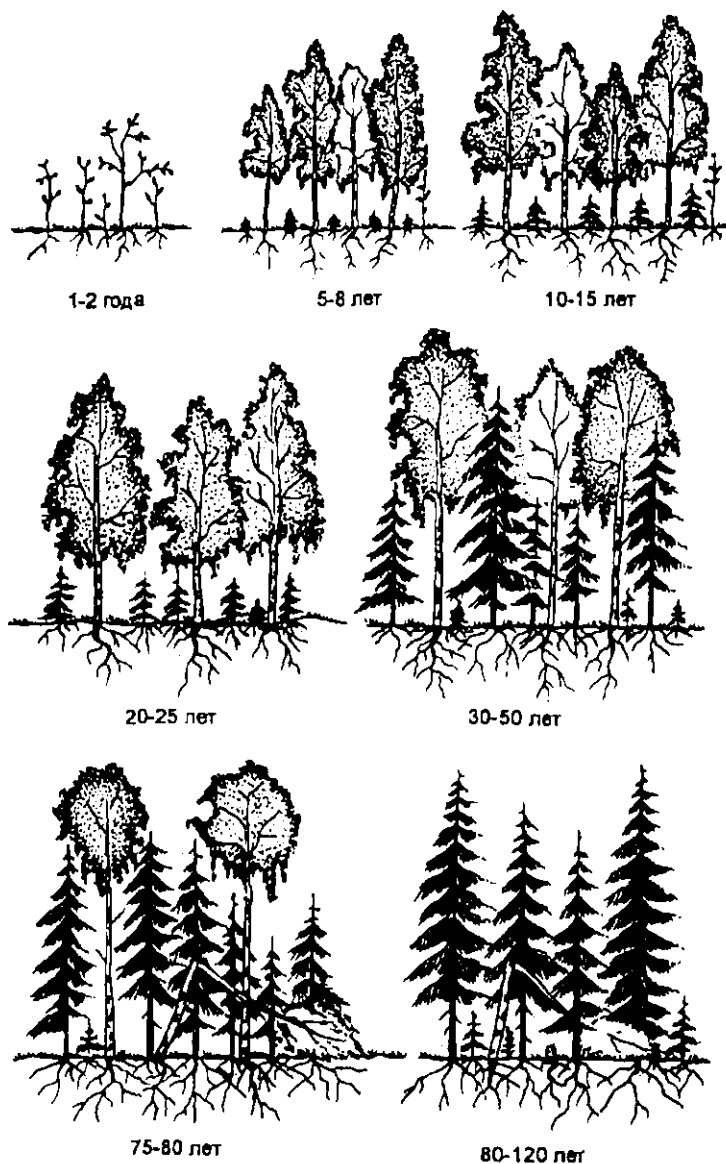


Рис. 54. Первичная сукцессия: формирование елового леса на брошенных землях

матры, находящихся примерно в 40 км от Кракатау. Одни организмы приплыли по морю, другие были занесены ветром, третьи — с помощью птиц. Посетившие остров ботаники спустя 9 месяцев после катастрофы зарегистрировали на острове единственное живое существо — плетущего паутина паука.

Цианобактерии, чьи споры были занесены ветром, подготовили условия, в которых начали развиваться пионерные мхи, папоротники и некоторые цветковые растения. Семена некоторых растений были выброшены морем, так же, как и более крупные плоды тропических деревьев, например кокосовой пальмы. Постепенно формировался почвенный покров. Занесенные ветром семена сахарного тростника в 1896 г. дали буйные побеги. Прижились даже крохотные пылеватоподобные семена некоторых прихотливых орхидей.

Спустя 10 лет остров уже был покрыт зеленью. По мере возрождения жизни остров посещали многие виды птиц, но лишь после того, как появились необходимые для их существования растения, они начали вести здесь оседлую жизнь. Поселившиеся птицы в своих пищеварительных трактах приносили семена и плоды многих растений, таких, как, например, семена фигового дерева. Некоторые семена путешествовали, прикрепляясь к птичьим перьям. Постепенно на острове обосновывались и крупные животные. Для миграции они использовали плавающие деревья.

По прошествии четверти века на острове насчитывалось уже 263 вида животных. Помимо обилия насекомых, здесь поселились 16 видов птиц, 2 вида пресмыкающихся и 4 вида улиток. Позже были занесены гекконы, агамы, а отличные пловцы питоны и вараны добрались своим ходом. Спустя 50 лет на Кракатау появился молодой, правда низкорослый, лес, а фауна уже насчитывала около 1200 видов. Таким образом, заселение живыми существами острова Кракатау является примером первичной сукцессии.

Если на какой-либо местности ранее существовала растительность, но по каким-либо причинам она была уничтожена, то ее естественное восстановление называется *вторичной сукцессией*. К таким сукцессиям может привести, например, локальное уничтожение леса болезнями, ураганом, извержение вулкана, землетрясение (так называемая *катастрофическая сукцессия*) либо пожар (*пирогенная* (от греч. *pyr* — огонь) *сукцессия*) (рис. 55). Большинство сукцессий, наблюдаемых в настоящее время, являются *сукцессиями антропогенными* (от греч. *anthropos* — человек). Это выпас скота, рубка лесов, возникновение очагов возгорания, распашка земель, затопление почв, опустынивание и т. п.

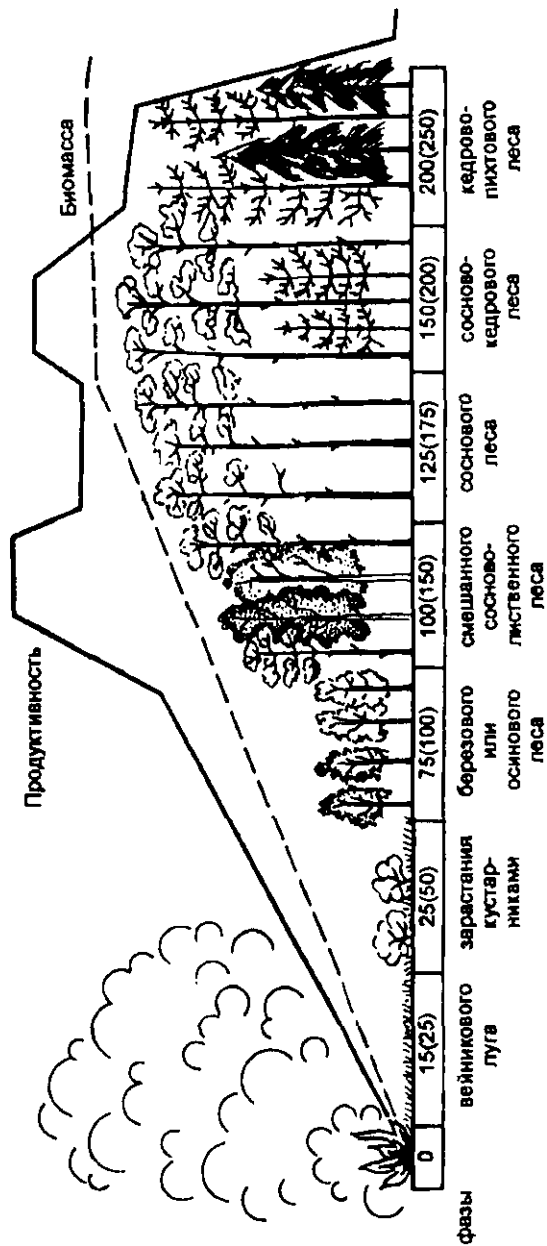


Рис. 55. Вторичная сукцессия сибирского темнохвойного леса (лихтово-кедровой тайги) после лесного пожара. Числа в прямоугольниках – колебания длительности прохождения фаз сукцессии (в скобках срок окончания)

Каждая стадия сукцессии характеризуется изменениями не только в структуре растительности и животного компонента биоценоза. Ни один вид растений или птиц не может процветать на протяжении всей сукцессии. По мере роста древостоя животное население в значительной степени меняет свой состав. Появляющиеся хищники и паразиты контролируют видовую структуру биоценоза. Поэтому последовательная и непрерывная смена видов во времени является характерной чертой большинства сукцессионных процессов.

Сукцессии характерны как для сухопутных, так и для водных местообитаний. Их можно наблюдать и в мелководных экосистемах (озеро, пруд), и в крупных реках, и даже в океане. Обычно на процессы сукцессии в водных местообитаниях указывают изменения в составе прибрежной растительности и обилие водных животных, главным образом рыбы. Часто при строительстве водохранилищ приходится затоплять водой большие площади суши с более или менее плодородными почвами. Обилие биогенных элементов на этой стадии приводит к вспышке численности рыбы, количество которой затем снижается по мере расходования запасов пищи. В дальнейшем происходит стабилизация рыбного населения, поддерживаемая определенным уровнем содержания питательных веществ.

Рассматривая сукцессии растительности при создании водохранилищ, можно установить некоторые общие закономерности. Так, во всех случаях формируются сообщества свободноплавающих, прикрепленных растений и прибрежно-водные группировки из рогозов, манника, ежеголовника, тростника и т. д. Такая стадийность зарастания водных местообитаний характерна для многих водных экосистем, однако некоторые стадии могут выпадать в зависимости от конкретных природных условий.

По мере развития биоценоза в результате смены различных сукцессионных стадий изменения его структуры и видового состава протекают до определенного предела, после которого сообщество приходит в относительное стабильное состояние, главным образом за счет стабилизации структуры растительности. Такое относительно устойчивое и равновесное по отношению к внешней среде растительное сообщество носит название климаксового. Таким образом, *климакс* (от греч. *klimax* — лестница) представляет собой заключительную стадию развития биоценоза, на которой он находится в равновесном состоянии с окружающей средой довольно продолжительное время.

В таких климаксовых сообществах долгое время сохраняются относительно постоянные потоки вещества и энергии. Видовой состав этих сообществ обычно богат и однороден по структуре. В течение сукцессии биомасса живых организмов возрастает и круговорот веществ увеличивается.

В 1916 г. один из первых исследователей климакса Фредерик Клементс предложил теорию моноклимакса, согласно которой в любой климатической зоне существует только один истинный климакс. К возникновению такого моноклимакса ведут все сукцессии независимо от того, как они начинаются: с песчаной дюны, зарастания озера, облесения пашни и т. д. Постепенно такую крайнюю теорию моноклимакса многие экологи отвергли, и она уступила место теории поликлимакса. Согласно этой теории климакс в данном участке может определяться одним или несколькими факторами. Это могут быть пожары, изменение почвенных условий, климата и т. д. В дальнейшем эволюция взглядов на природу климакса привела к появлению нового подхода, который отражает теорию климакс-мозаики. Он понимается как непрерывно варьирующие изменения под воздействием эдафических (от греч. *edaphos* — основание, земля, почва) факторов. Это климакс однородной в климатическом отношении территории. Климакс каждой точки признается индивидуальным, а вся климаксовая растительность трактуется как совмещенные условиями среды мозаики видовых популяций.

Стабильность экосистемы возможна только при сбалансированном поступлении и отчуждении органического вещества. В этом случае общая живая масса экосистемы остается в устойчивом состоянии. Под экологической стабильностью экосистемы понимается способность ее противостоять внутренним и внешним абиотическим и биотическим факторам среды.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ ПО В. Н. СУКАЧЕВУ. БИОГЕОЦЕНОЗ

В истории экологии 20–40-е годы примечательны тем, что именно в это время многие экологи искали ту основную структурную единицу природного целого, которая может лежать в основе биосферных процессов. Англичанин Тенсли предложил такой единицей считать экосистему. В России, а затем и в Советском Союзе развитие теоретической экологии шло по несколько иному руслу. Естественнаучные взгляды формировались под

влиянием воззрений ученых, которые относились к традиционно сильной в России школе лесоведения и лесоводства. Среди них следует отметить прежде всего таких выдающихся ученых, как Г. Ф. Морозов, издавший классический труд «Учение о лесе», Г. Н. Высоцкий, М. Е. Ткаченко и др. Большое влияние на естествоиспытателей того времени оказали также идеи известного почвовед В. В. Докучаева и геохимика, основателя учения о биосфере В. И. Вернадского.

Еще в 1899 г. В. В. Докучаев писал, что в последнее время все больше формируется и обособляется одна из наиболее интересных дисциплин в области современного естествознания, а именно учение о многогранных соотношениях и взаимоотношениях (а одновременно и о законах, управляющих вековыми изменениями), которые существуют между неживой и живой природой: между поверхностными горными породами, пластикой земли, почвами, наземными и почвенными водами, климатом страны и растительными и животными организмами, в том числе и человеком, гордым венцом природы.

Такой дисциплиной, возникшей в недрах лесной геоботаники и оформившейся впоследствии в фундаментальную науку со своими задачами и методами, является **биогеоценология** (от греч. *bios* – жизнь, *ge* – земля, *koinos* – общий). Основоположником биогеоценологии стал выдающийся геоботаник, лесовод и эколог академик Владимир Николаевич Сукачев, предложивший

свою трактовку структурной организации биосферы. В. Н. Сукачев посвятил свою жизнь разработке общих вопросов *фитоценологии* – науки о растительных сообществах (фитоценозах). В своих работах он придавал большое значение изучению межвидовых и внутривидовых взаимоотношений растений в растительных сообществах.

В. Н. Сукачев родился в 1880 г. Окончил Харьковское реальное училище, а затем поступил в Петербургский лесной институт, который окончил с золотой медалью. Научная работа привле-



Владимир Николаевич Сукачев  
(1880 – 1967)

кала его с ранней юности (первый научный труд был им опубликован в 18 лет). С этих пор В. Н. Сукачев целиком посвящает себя науке. Интересы ученого были необыкновенно широки, что поражало современников. Он оставил значительный след в таких отраслях биологической науки, как систематика растений, флористика, экология, болотоведение, генетика и селекция, биогеоценология.

В. Н. Сукачев – автор многих классических работ, посвященных жизни леса. И хотя начинал ученый как систематик, а позже изучал взаимоотношения между отдельными видами в растительном сообществе, постепенно от исследований взаимоотношений между живыми растениями он переходит к изучению косной среды, воздействующей на организмы, и к исследованию биоценозов в целом. Им завладела идея единства и взаимосвязи биоценоза и среды его обитания (биотопа).

Такая эволюция взглядов привела к формулировке понятия «биогеоценоз». Биогеоценология как учение развивалась на стыке биологических и физико-географических наук и отразила комплексный характер изучения живой природы. По В. Н. Сукачеву, биогеоценоз – это элементарная ячейка насыщенных организмами слоев биосферы, маркируемая фитоценозом – растительным сообществом. Это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система живых организмов и абиотической среды, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией. Сущность биогеоценоза В. Н. Сукачев видел в процессе взаимного обмена веществом и энергией между составляющими его компонентами, а также между ними и окружающей внешней средой. Однако сам ученый крайне отрицательно относился к попыткам свести биогеоценологию лишь к проблеме энергетики биогеоценоза. Проблемы биогеоценологии – это проблемы комплексного анализа структуры растительного и животного мира, почвы, выявления трофических уровней, определения биологической продуктивности и др. Хотя В. Н. Сукачев разрабатывал концепцию биогеоценоза как ботаник и фитоценолог, она была принята большинством современных экологов. Важной ее особенностью является то, что биогеоценоз связывается с определенным участком земной поверхности.

Исходным понятием при определении биогеоценоза был геоботанический термин «фитоценоз» – растительное сообщество, группировка растений с однородным характером взаимоотношений между ними самими и между ними и средой. Растения (авто-

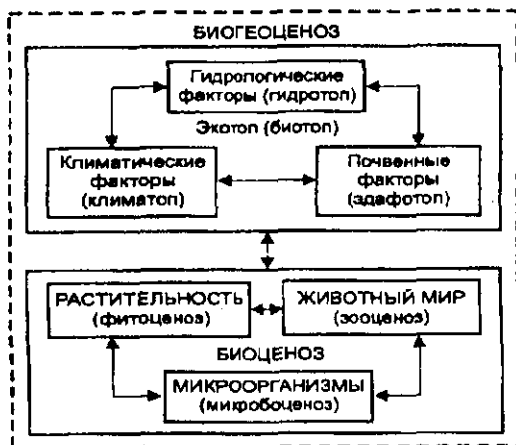


Рис. 56. Структура биогеоценоза и схема взаимодействия между его компонентами

трофные организмы) развиваются на вполне конкретном субстрате – почве, представляющей собой органико-минеральное естественноисторическое природное образование, которое населено микроорганизмами. Еще одним природным компонентом, с которым непосредственно контактируют растения, является атмосфера. Любой фитоценоз всегда населен разнообразными животными (гетеротрофными организмами).

Объединяя все указанные составляющие в одно целое, мы получим *структуру биогеоценоза*. Она включает пять основных функционально связанных частей. Это *фитоценоз* – растительное сообщество (автотрофные организмы, продуценты); *зооценоз* – животное население (гетеротрофы, консументы) и *микробоценоз* – различные микроорганизмы, представленные бактериями, грибами, простейшими (редуценты). Эту живую часть биогеоценоза В. Н. Сукачев относил к биоценозу. Неживую, абиотическую часть биогеоценоза составляют совокупность климатических факторов данной территории – *климатоп* и биокосное образование – *эдафотоп* (почва). В последнее время в структуру абиотической среды биогеоценоза включают также и гидрологические факторы (*гидротоп*) (рис. 56). Такая совокупность абиотических компонентов биогеоценоза носит название *биотоп* (в качестве синонима в лесной биогеоценологии употребляется термин «экотоп»; термин «биотоп» чаще используется экологами, изучающими животных).



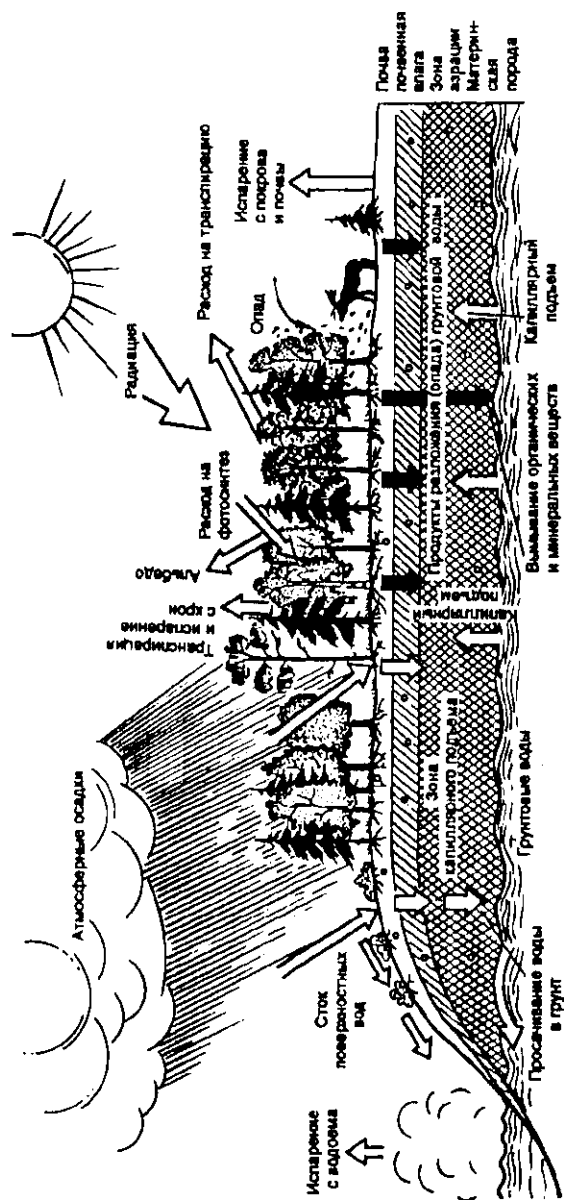


Рис. 57. Схема взаимодействия различных компонентов в биогенезе

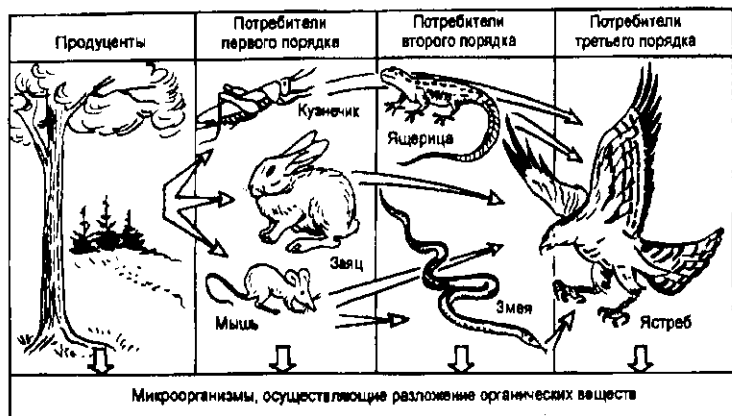


Рис. 58. Пищевые взаимосвязи организмов в биогеоценозе

Все взаимодействия компонентов биогеоценоза связаны между собой совокупностью пищевых цепей и взаимообусловлены (рис. 57). Каждый компонент в природе неотделим от другого. Главным созидателем живого вещества в пределах биогеоценоза является фитоценоз – зеленые растения. Используя солнечную энергию, зеленые растения создают огромную массу органического вещества. Состав и масса такого вещества зависят главным образом от особенностей атмосферы и почвенных условий, которые определяются, с одной стороны, географическим положением (зональность, отражающаяся существованием определенных типов биомов), а с другой – рельефом местности и расположением фитоценоза. От состава и характеристики растительности зависит существование комплекса гетеротрофов. В свою очередь биоценоз в целом определяет состав и количество органического вещества, попадающего в почву (степные богатые черноземы, слабогумусированная почва бореальных лесов и крайне бедные почвы влажного тропического леса). Животные в процессе своей жизнедеятельности также оказывают разнообразное влияние на растительность. Исключительно важны взаимодействия между микроорганизмами и растительностью, микроорганизмами и позвоночными и беспозвоночными животными (рис. 58).

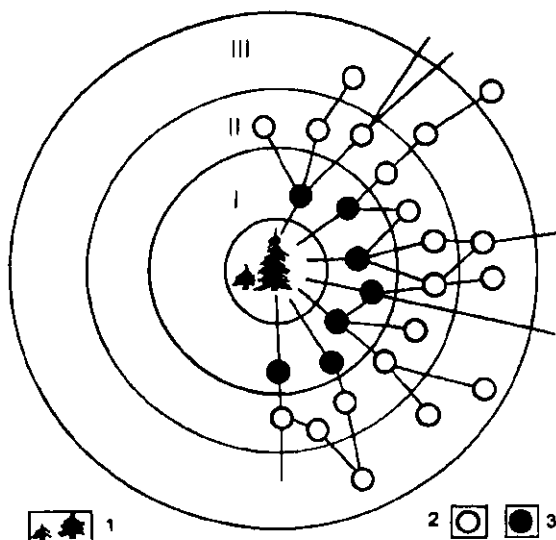
Таким образом, развивая идею биогеоценоза и теорию биогеоценологии, В. Н. Сукачев под биогеоценозом понимал сообщество животных и растений вместе с отвечающими ему условиями почвы и атмосферы. Важное значение для формирования

новой концепции имела проблемная статья Сукачева «Основы теории биогеоценологии», написанная в 1947 г. В развернутом виде определение биогеоценоза, данное Сукачевым, выглядит следующим образом: «Биогеоценоз — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии».

Как видим, предложенная структурная единица биосферы сходна с тем, что Тенсли понимал под экосистемой. Действительно, оба эти понятия тождественны. В основе обеих формулировок лежит принцип единства живых и неживых компонентов биологических систем. Для экологов, предпочитающих термин «экосистема», более привлекательным является такой ее признак, как относительность границ. При таком подходе возможно выделение микро-, макро- и мезоэкосистем. В этом случае под определение биогеоценоза может подходить только последний экосистемный уровень, например конкретный тип леса.

Понятие биогеоценоза как определенного элемента биосферы является биохорологическим (от греч. «хорос» — место, пространство), и в этом отличие биогеоценоза от экосистемы, поскольку экосистема может быть пространственно как мельче, так и крупнее биогеоценоза. Таким образом, различие между двумя понятиями состоит главным образом в том, что экосистема — образование более общее, безранговое. Это может быть и участок суши или водоема, и прибрежная дюна, и капля прудовой воды, и вся биосфера в целом. Биогеоценоз же ограничен в основном границами фитоценоза. Это некий природный объект, занимающий определенное пространство и отделенный конкретными границами от таких же объектов. Это реальная зона, в которой осуществляется биогенный круговорот.

Помимо пяти основных крупных слагающих компонентов биогеоценоза, которые составляют его функциональную структуру в его пределах, можно вычленить более мелкие морфологические структурно-функциональные элементы. Одним из таких элементов является консорция (от лат. *consortium* — соучастие, сообщество). Консорция (у некоторых авторов консорций) является



**Рис. 59.** Схема строения консорции (I, II, III – концентры):

*I* – центральный вид; *2* – консорты первого порядка (фитофаги, эпифиты, симбионты);  
*3* – консорты второго, третьего и других порядков (зоофаги)

основной ячейкой трансформации энергии в биогеоценозе. Обычно консорция включает отдельную особь или популяцию автотрофного растения и популяции видов, связанные с ней трофически (рис. 59).

Для более ясного понимания сущности консорции приведем несколько определений ее. Так, Л. Г. Раменский определяет консорцию как сочетание разнородных организмов, тесно связанных друг с другом в их жизнедеятельности определенной общностью (консортивные группы, или консорции). Таковы, например, древесные породы (ель, береза, липа, дуб) со свойственными им паразитами, сапрофитами, эпифитами (лишайники, мхи), симбионтами (микориза, микробы, ризосферы и др.), вредителями, переносчиками пыльцы, семян и т. д. Без выделения и изучения консорций наше знание биоценозов не будет полным и законченным.

Е. М. Лавренко под консорцией понимал сочетание популяции вида высшего растения в данном растительном сообществе... со связанными с этим высшим растением популяциями низших растений и животных.

Примером консорции может служить любое отдельное дерево или травянистое растение с комплексом паразитов, грибами, эпифитами, насекомыми, гнездящимися птицами и т. д. Каждая

консорция состоит из двух частей. Основная часть представлена центральным растением (ядро консорции); в своей жизнедеятельности с этим ядром связана группа организмов, входящих в состав консорции, — консортов. В зависимости от степени приближенности консортов к центральному ядру различают несколько концентров. Например, в консорции ели к 1-му концентру относят эпифитные лишайники, мхи, водоросли, грибы, бактерии. 2-й концентр составляют организмы, которые связаны с растениями 1-го концентра. К 3-му концентру относятся зоопаразиты животных предыдущего концентра.

## АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Агроэкосистема (сельскохозяйственная экосистема, агроценоз, агробиоценоз) — биотическое сообщество, созданное человеком с целью получения сельскохозяйственной продукции. Обычно включает совокупность организмов, обитающих на землях сельскохозяйственного использования. Характерная особенность агроэкосистем — малая экологическая надежность, но высокая урожайность одного или нескольких видов (или сортов культивируемых растений) или животных. К агроэкосистемам относят поля, сады, огороды, виноградники, крупные животноводческие комплексы с прилегающими пастбищами и т. д.

Агроэкосистемы представляют собой квазинатуральные системы и отличаются от естественных экосистем рядом особенностей.

Прежде всего разнообразие живых организмов в них резко снижено для получения максимально высокой продукции. На ржаном или пшеничном поле кроме злаковой монокультуры можно встретить разве что несколько видов малообильных сорняков. На естественном лугу биологическое разнообразие (альфа-разнообразие) значительно выше, но биологическая продуктивность уступает засеянному полю во много раз.

Академик А. Тахтаджян в свое время пришел к выводу, что победа цветковых растений в борьбе за существование была обеспечена их способностью образовывать многоярусные сложные сообщества. Внедряя монокультуры, мы идем против эволюционных традиций живой природы. Агроэкосистемы будущего должны быть многообразными, многокомпонентными.

Виды сельскохозяйственных растений и животных получены в результате действия искусственного, а не естественного отбора, что в значительной мере влияет на сужение их генетической базы. Всего четыре сорта пшеницы обеспечивают 75 % урожая зер-

новых в канадских прериях, причем более половины площадей, отведенных под пшеницу, засеваются всего одним сортом. То же касается и ряда других структур: 72 % сборов картофеля в США обеспечиваются всего лишь четырьмя сортами, а все производство гороха основывается на двух сортах. Таким образом, в агроэкосистемах произошло резкое сужение генетической базы сельскохозяйственных культур, которые крайне чувствительны к массовым размножениям вредителей и болезням.

Если проанализировать мировое производство основных пищевых растений, то окажется, что их количество ограничивается цифрой 30. Эти 30 растений составляют 95 % нашей пищи. Львиную долю среди этих культур составляют пшеница, кукуруза и рис. К ним можно отнести еще картофель. В то же время такие наши повседневные спутники как капуста, лук и горох, в пищевом рационе человечества занимают соответственно 25, 26 и 28-е место. Оказывается, для большинства землян они более экзотичны, нежели бананы, апельсины, кокосы, не говоря уже о таких массовых тропических видах, как бататы и кассава, занимающих 6-ю и 7-ю строчки в этом списке (рис. 60).

Выведение новых пород крупного рогатого скота в настоящее время преследует строго утилитарные цели. Получение тех или иных конкретных качеств (мясные и молочные породы) неизбежно ведет к вытеснению тех пород, характеристики которых в данное время имеют меньшую ценность. Не так давно в каждом районе и практически в каждой деревне средиземноморского бассейна были свои особые породы коров, коз, лошадей или овец, каждая из которых идеально отвечала местным потребностям, а значит, и генетическое разнообразие видов домашних животных было высоким. Теперь же из 145 пород крупного рогатого скота Европы и Средиземноморья не менее 115 находятся под угрозой исчезновения. Во Франции черно-пестрые коровы бретонской породы молочного направления начинают постепенно вытесняться новыми, получаемыми путем скрещивания с американской голштинской породой. Такое положение дел заставило французских экологов разрабатывать меры по сохранению отечественных пород.

Смена растительного покрова в агроэкосистемах происходит не естественным путем, а по воле человека, что не всегда хорошо отражается на состоянии входящих в нее абиотических компонентов. Особенно это касается почвенного плодородия.

Почва является важнейшей системой жизнеобеспечения и существования сельскохозяйственного производства. Однако продуктивность сельскохозяйственных экосистем зависит не только от плодородия почвы и поддержания ее качества. В не меньшей мере на нее

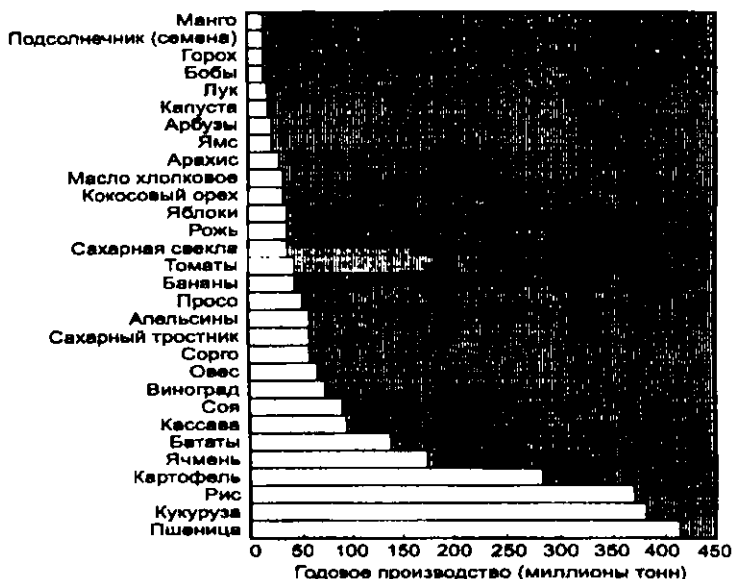


Рис. 60. Структура мирового производства основных пищевых растений

влияет сохранность среды обитания полезных насекомых (опылители) и других представителей животного мира. К тому же в этой среде обитают многие естественные враги сельскохозяйственных вредителей. Так, уже стал хрестоматийным пример массовой гибели опылителей полей гречихи в США, происходившей при столкновении их с автомобилями в местах близкого расположения сельскохозяйственных угодий к автотрассам. Печально известна также «анти-воробьевая» кампания в Китае, когда были уничтожены тысячи особей этих якобы вредящих урожаю зерновых птиц. А вслед за этим последовала вспышка размножения вредителей злаковых культур, которая нанесла по-настоящему серьезный урон земледельцам страны.

Еще одна особенность, собственно говоря, и отличающая агроэкосистему от природной экосистемы, состоит в получении дополнительной энергии для нормального функционирования. Под дополнительной понимается любой тип энергии, привносимый в агроэкосистему. Это может быть мускульная сила человека или животных, различные виды горючего для работы сельскохозяйственных машин, удобрения, пестициды, ядохимикаты, дополнительное освещение и т. д. Под дополнительной энергией можно также понимать новые породы домашних животных и сорта культурных растений, внедряемые в структуру агроэкосистемы.

## Глава 6

### БИОСФЕРА

Сияет солнце, воды блещут,  
На всем улыбка, жизнь во всем,  
Деревья радостно трепещут,  
Купаясь в небе голубом.  
Поют деревья, блещут воды,  
Любовью воздух растворен,  
И мир, цветущий мир природы,  
Избытком жизни упоен.

*Ф. И. Тютчев*

Два мира есть у человека:  
Один, который нас творил,  
Другой, который мы от века  
Творим по мере наших сил.

*Н. Заболоцкий*

### БИОСФЕРА КАК ВЫСШИЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Наша планета Земля неповторима в плане разнообразия условий внешней среды. Это океанские просторы и горные цепи, «артериальная» сеть крупных рек и мелких речушек, жаркие пустыни и вечные льды полюсов. Земля – это чудо вселенной, уникальная сфера, жемчужина в космическом пространстве. Главная особенность планеты – это существование на ней жизни в самых разных ее проявлениях. Изумляет богатое разнообразие живых существ: микроскопические организмы, насекомые, растения, рыбы, птицы, млекопитающие и, наконец, сам человек.

Многие другие планеты также могут иметь ядро, мантию, кору и атмосферу. Так, на спутнике Сатурна Титане возможно существование морей из жидкого метана, а на многих удаленных от Солнца планетах зарегистрировали присутствие оледеневшей гидросферы. На многих небесных телах найдены молекулы воды, но лишь в земной среде с ее узкими границами температур и атмосферного давления вода одновременно может присутствовать



в трех фазах: газообразной, жидкой и твердой. Такому состоянию воды на нашей планете способствует и благоприятное расстояние ее от Солнца: будь Земля немного ближе к раскаленному солнечному шару, пары воды никогда бы не конденсировались, а если бы расстояние до Солнца было больше, вода замерзла бы, образуя сплошной ледяной покров.

Идеальное снабжение энергией обусловлено тем, что Земля находится именно на таком расстоянии от Солнца, которое обеспечивает существование жизни, — 149 000 000 км. Она движется со скоростью около 107 000 км/ч. Именно эта скорость компенсирует силу тяготения Солнца и удерживает Землю на подходящем расстоянии. Если бы скорость движения Земли упала, она была бы притянута к Солнцу и со временем превратилась бы в выжженную пустыню, как ближайший к Солнцу Меркурий. С другой стороны, если бы орбитальная скорость Земли возросла, она бы удалилась от Солнца и оказалась скованной ледовым панцирем, как Плутон.

Однако, как бы там ни было, жизнь в ее многочисленных проявлениях тонким хрупким слоем покрыла всю нашу голубую планету. На Земле появились структуры, способные самовоспроизводиться, менять свою форму в результате комбинации и рекомбинации генов и передавать эти изменения потомкам. Делящаяся клетка остается неизменной в новых поколениях. Жизнь постоянно и непрерывно воспроизводит себя и проявляется в возникновении новых видов и особей, каждая из которых уникальна. Количество вариантов и возможных генетических комбинаций, которые приводят к созданию уникальных организмов, больше, нежели число световых лет, отделяющих Землю от самой дальней звезды. Предполагают, что количество таких потенциальных комбинаций выражается числом 265 с двадцатью четырьмя миллиардами нулей!

Самое важное за всю историю Земли — это, конечно, появление первых форм живого и взаимодействие их с поверхностью планеты. За 4 млрд лет, прошедшие с тех пор, как земная поверхность стала подходящим субстратом для существования жизни, на ней произошли грандиозные изменения. И начало им было положено в то неопределенно далекое время, когда началась дифференциация живого и неживого.

Первым попытался описать отличие живого от неживого французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк. В его время все многообразие окружающего мира — от атомов до планет —

делилось на три царства: растения, животные, минералы. Ламарк, упростив это деление, всю природу разделил на два царства: живое и неживое. В своей знаменитой «Философии зоологии» он составил таблицу противоположностей живого и неживого.

Еще в XVII–XVIII вв. многими учеными умами высказывалась идея о взаимосвязанности всех процессов в живой и неживой природе. Ученые разных специальностей подготавливали почву, на которой в начале XX в. проросли ростки глобального учения о биосфере. Известный математик Н. Н. Моисеев по поводу глобальности некоторых проблем писал: «Эпитет «глобальный» возник в начале 70-х годов. Его используют всякий раз, когда речь идет о проблемах, относящихся к планете в целом. Это могут быть и вопросы экологии человека — дисциплины, в которой человечество рассматривается как одно целое... Датировать начало глобальных исследований очень трудно, ибо ученых всегда интересовали общие вопросы эволюции нашей планеты и характер процессов, которые на ней происходят. Но я предпочитаю обозначать термином «глобальные исследования» лишь те работы, которые направлены на изучение влияния человека на характер процессов общепланетарного масштаба».

К одному из таких глобальных учений, определивших направление и эволюцию естественной и экологической мысли XX в., принадлежит учение о биосфере.

Первые робкие обобщения и представления о биосфере восходят к уже упомянутому нами Ламарку. Ему принадлежит приоритет в формулировке самого понятия «биосфера», хотя термина этого при его жизни еще не существовало. Однако обобщения, сделанные Ламарком, позволяют нам говорить о том, что высказанные им идеи содержат в себе зачатки понятия о биосфере. В лекциях 1800 г. Ламарк отметил, что живые тела содержат все неорганические вещества, наблюдаемые в природе, и объяснил это активным участием животных и растений в формировании поверхности Земли. Позже он заключает, что все минералы внешней коры и состоящие из них элементы земной поверхности являются исключительно продуктами животных и растений, которые существовали на этих участках поверхности земного шара.

Работы Ламарка положили начало представлениям о существовании на нашей планете определенного пространства, заселенного живыми существами. Причем подчеркивалось, что это пространство организовано именно жизнедеятельностью организмов. Из множества терминов, которые были предложены для

обозначения такого пространства, закрепился один, предложенный в 1875 г. австрийским геологом Эдуардом Зюссом. Он писал: «В области взаимодействия верхних сфер и литосферы и на поверхности материков можно выделять самостоятельную биосферу. Она простирается теперь как над сухой, так и над влажной поверхностью, но ясно, что раньше она была ограничена только гидросферой».

**Биосфера** (от греч. *bios* – жизнь, *sphaira* – шар) – оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной деятельностью живых организмов. Сама же совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба. Поражает то, насколько невелика область распространения жизни на Земле: всего несколько десятков метров почвенного слоя, около 11 км океанских глубин и 10–15 км атмосферы. Таково пространство, где рождаются, развиваются и умирают 1,5 млн видов животных и 350 тыс. видов растений, распространенных на нашей планете.

## УЧЕНИЕ В. И. ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

Одним из выдающихся естествоиспытателей, который посвятил себя изучению процессов, протекающих в биосфере, был академик Владимир Иванович Вернадский. Он стал основоположником научного направления, названного им биогеохимией, которое легло в основу современного учения о биосфере.

В XIX в. в России постепенно складывалось представление о единстве человека и природы, о тех проблемах, с которыми неизбежно столкнется человечество при необузданном стремлении всецело подчинить себе природу. Вообще идея цельного знания, основанного на органической полноте жизни, принадлежит русской философии. Она легла в основу направления общественной жизни, получившего название «русский космизм».



Владимир Иванович Вернадский  
(1864–1945)

Именно тогда в научной среде засверкали имена психолога и физиолога И. М. Сеченова, химика Д. И. Менделеева, почвовед В. В. Докучаева, основоположника космонавтики К. Э. Циолковского. К плеяде этих выдающихся ученых принадлежит и В. И. Вернадский.

Владимир Иванович уже в гимназические годы проявлял большой интерес к естественным наукам: химии, зоологии, ботанике. На свое семнадцатилетие Володя попросил отца подарить ему английское издание одной из книг Ч. Дарвина. И поэтому вполне логичным шагом было поступление его на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета, где читали лекции такие корифеи науки, как А. М. Бутлеров, Д. И. Менделеев, С. П. Костычев, В. В. Докучаев, И. М. Сеченов. Находясь под влиянием идей В. В. Докучаева, Вернадский стал специализироваться по минералогии. Еще один его учитель — Д. И. Менделеев ввел его в мир химии, вернее, Вернадскому открылась химическая сторона жизни природы.

После окончания университета Владимир Иванович был оставлен для подготовки к профессорскому званию и назначен хранителем минералогического кабинета университета. После двухлетней заграничной командировки по странам Европы в 1891 г. он защищает магистерскую диссертацию о роли глинозема в силикатах, а в 1897 г. — докторскую диссертацию на тему «О явлении скольжения кристаллического вещества».

В начале XX в. В. И. Вернадским были подняты проблемы совместной эволюции человека и биосферы с позиции развития Земли как космического тела. Уже в то время ученый был одержим идеей познать и раскрыть роль человека в естественноисторическом процессе. К этому периоду он завершил создание своей «биогеохимии». Зерна, брошенные В. В. Докучаевым и Д. И. Менделеевым, дали первые ростки.

Кстати, термин «геохимия» появился еще в 1842 г. с легкой руки швейцарского химика Кристиана Фридриха Шёнбейна. Геохимия занималась изучением процессов трансформации вещества земной коры, историей преобразования тех или иных геологических пород. В. И. Вернадский ввел в геохимию исторический принцип. Его исследования привели к осознанию роли жизни и живого вещества в геологических процессах. Облик Земли, ее атмосфера, осадочные породы, ландшафты — все это результат жизнедеятельности. Особую роль в становлении лика нашей планеты В. И. Вернадский отводил человеку. Он представил дея-

тельность человечества как стихийный природный процесс, истоки которого теряются в глубинах истории.

Будучи глубоким теоретиком, В. И. Вернадский стоял у истоков таких новых и общепризнанных ныне наук, как радиогеология, биогеохимия, учение о биосфере и ноосфере и науковедение.

В 1926 г. В. И. Вернадский опубликовал в Ленинграде книгу под названием «Биосфера», которая ознаменовала рождение новой науки о природе, о взаимосвязи с ней человека. В этой работе биосфера впервые показана как единая динамическая система, населенная и управляемая жизнью, живым веществом планеты. «Биосфера – организованная, определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью». В работах по биосфере ученый показал, что взаимодействие живого вещества с веществом косным есть часть большого механизма земной коры, благодаря которому происходят разнообразные геохимические и биогенные процессы, миграции атомов, осуществляется их участие в геологических и биологических циклах.

В. И. Вернадский впервые показал, что химическое состояние наружной коры нашей планеты всецело находится под влиянием жизни и определяется живыми организмами, с деятельностью которых связан великий планетарный процесс – миграция химических элементов в биосфере. Эволюция видов, отмечал ученый, приводящая к созданию форм жизни, устойчива в биосфере и должна идти в направлении увеличения биогенной миграции атомов.

Биосфера представляет собой сложнейшую планетарную оболочку жизни, населенную организмами, составляющими в совокупности живое вещество. Это самая крупная (глобальная) экосистема Земли – область системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. Совокупная деятельность живых организмов в биосфере проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба.

Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы до высоты озонового экрана (20–25 км), верхнюю часть литосферы (кора выветривания) и всю гидросферу до глубинных слоев океана. В. И. Вернадский отмечал, что «пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни». На развитие жизни, а следовательно, и границы биосферы оказывают влияние многие факторы и прежде всего наличие кислорода, углекислого газа, воды в ее жидкой фазе. Ограничивают область распространения жизни и слишком высокие или низкие температуры. Элементы

минерального питания также влияют на развитие жизни. К ограничивающему фактору можно отнести и сверхсоленую среду (превышение концентрации солей в морской воде примерно в 10 раз). Лишены жизни подземные воды с концентрацией солей выше 270 г/л.

В планетарной биосфере выделяют континентальную и океаническую биосферы, которые отличаются геологическими, географическими, экологическими, биологическими, физическими и другими условиями. Нижний предел распространения живого ограничивается дном океана (глубина около 11 км) или изотермой в 100 °С в литосфере (по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове эта цифра составляет около 6 км). Фактически жизнь в литосфере прослеживается до глубины 3–4 км. Таким образом, вертикальная мощность океанической биосферы составляет 17 км, сухопутной – до 12 км. Вверх, в атмосферу, биосфера простирается не выше наибольших плотностей озонового экрана, что составляет 22–24 км. Следовательно, предел протяженности биосферы на Земле выражается цифрой 33–35 км, хотя теоретически он может быть более широким.

На основе работ В. И. Вернадского и других исследователей, внесших большой вклад в изучение биосферы планеты, предлагается различать три основные ее формы:

1) формы биологической систематики, включающие популяции, виды, роды, семейства и др., принятые в ботанике и зоологии;

2) биогеографические формы – территории, характеризующие географическое распространение и распределение растений и животных, специфику флоры и фауны. Это биогеографические зоны, области и т. д. Отдельно выделяются ботанико-географические и зоогеографические территории, дающие представление о составе и характере флоры и фауны;

3) экологические формы, известные под названиями экосистем (биогеоценозов), экотопов, биотопов и др. Напомним, что биотоп – это участок с однородными экологическими условиями, занятый определенными биоценозами, экотоп – это местообитание сообщества. В отличие от биотопа, понятие «экотоп» включает внешние по отношению к сообществу факторы среды. Это совокупность абиотических условий неорганической среды данного участка, представляющего собой местообитание конкретного сообщества. Экологические формы определяют специфику изучения биосферы в экологических аспектах.

Вещественный состав биосферы также разнообразен. В. И. Вернадский включает в него семь глубоко разнородных, но геологически не случайных частей:

- живое вещество;
- биогенное вещество – рождаемое и перерабатываемое живыми организмами (горючие ископаемые, известняки и т. д.);
- косное вещество, образуемое без участия живых организмов (твердое, жидкое и газообразное);
- биокосное вещество – косное вещество, преобразованное живыми организмами (вода, почва, кора выветривания, илы);
- вещество радиоактивного распада (элементы и изотопы уранового, ториевого и актиноуранового ряда);
- рассеянные атомы земного вещества и космических излучений;
- вещество космического происхождения в форме метеоритов, космической пыли и др.

В строении и морфологии биосферы исключительно важное значение для развития живого вещества имеют следующие ее элементы (сверху вниз):

- слой живого вещества, так называемая «пленка жизни»;
- педосфера, или почвенный покров;
- ландшафтно-экологические системы – функциональные системы, включающие живые организмы и среду их обитания;
- кора выветривания, т. е. зона разрушения и преобразования горных пород, их минерально-геохимических изменений в верхней части земной коры под воздействием различных факторов;
- древняя биосфера (палеобиосфера) – комплекс горных пород, рельефа и других ландшафтных компонентов, залегающих ниже современной биосферы и погребенных под ее новейшими образованиями. Это горные породы, рудные и нерудные минералы, химические элементы, широко используемые в промышленности;
- многочисленные минералы верхней части земной коры и биосферы: глины, известняки, бокситы и т. д.;
- природные воды осадочной оболочки;
- миллионы органических и органоминеральных соединений: уголь, графит, гумусовые вещества, нефть, природные газы;

- минеральные ресурсы биосферы и земной коры, распространенные в форме свободных элементов: меди, серебра, золота, висмута, платины и т. д. Все они – главный источник сырья для металлургии, химической промышленности и многих других отраслей. Их добыча и использование в экономике растут год от года.

Из сказанного вытекает, что биосфера является результатом сложнейшего механизма геологического и биологического развития и взаимодействия косного и биогенного вещества. С одной стороны, это среда жизни, а с другой – результат жизнедеятельности. Главная специфика современной биосферы – это четко направленные потоки энергии и биогенный (связанный с деятельностью живых существ) круговорот веществ.

Разрабатывая учение о биосфере, В.И. Вернадский пришел к выводу, что главным трансформатором космической энергии является зеленое вещество растений. Только они способны поглощать энергию солнечного излучения и синтезировать первичные органические соединения. Для объяснения большой суммарной энергии биосферы ученый произвел расчеты, которые действительно показали огромное значение фотосинтезирующих растений в создании общей органической массы. Ученый подсчитал, что поверхность Земли составляет меньше одной десяти тысячной поверхности Солнца. Общая же площадь трансформационного аппарата зеленых растений в зависимости от времени года составляет уже от 0,86 до 4,2 % площади поверхности Солнца. Разница колоссальная. Этот зеленый энергетический потенциал и лежит в основе сохранения и поддержания всего живого на нашей планете.

В. И. Вернадский так же, как и Ламарк 140 лет назад, попытался дать главные исчерпывающие признаки каждого царства живого. И чем больше он вникал в проблему, тем более ясно становилось, что вырисовывается новый разрез мира. В.И. Вернадский составил таблицу из 16 пунктов, где рассмотрел несходство живого и неживого в физическом, химическом и термодинамическом смысле.

Анализ таблицы показывал, что в природе нет никаких переходов от неживого к живому: они настолько противоречивы, что живое ни при каких условиях не может происходить из неживого. Организм и косную материю разделяет непроходимая стена. Принцип итальянского естествоиспытателя и врача Франческо Реди, гласящий, что живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом проходит резкая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие, – получил свое подтверждение.



## ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО ПЛАНЕТЫ

Одним из центральных звеньев концепции биосферы является учение о живом веществе. Исследуя процессы миграции атомов в биосфере, В. И. Вернадский подошел к вопросу о генезисе (происхождение, возникновение) химических элементов в земной коре, а после этого и к необходимости объяснить устойчивость соединений, из которых состоят организмы. Анализируя проблему миграции атомов, он пришел к выводу, что «нигде не существуют органические соединения, независимые от живого вещества». Позже он формулирует понятие «живого вещества»: «Живое вещество биосферы есть совокупность ее живых организмов... Я буду называть совокупность организмов, сведенных к их весу, химическому составу и энергии, живым веществом». Главное предназначение живого вещества и его неотъемлемый атрибут — накопление свободной энергии в биосфере. Обычная биогеохимическая энергия живого вещества производится прежде всего путем размножения.

Научные идеи В. И. Вернадского о живом веществе, о космичности жизни, о биосфере и переходе ее в новое качество — ноосферу своими корнями уходят в XIX — начало XX в., когда философы и естествоиспытатели предприняли первые попытки осмыслить роль и задачи человека в общей эволюции Земли. Именно их усилиями человек начал свое продвижение к вершинам естественной эволюции живого, постепенно занимая экологическую нишу, отведенную ему природой.

Вспомним слова А. Н. Радищева, сказанные им на переломе XVIII и XIX вв.:

«Ты хочешь знать: кто я? что я? куда я еду?

Я тот же, что и был и буду весь мой век:

Не скот, не дерево, не раб, но человек!»

В 30-е годы В. И. Вернадский из общей массы живого вещества выделяет человечество как его особую часть. Такое отособление человека от всего живого стало возможным по трем причинам. Во-первых, человечество является не производителем, а потребителем биогеохимической энергии. Такой тезис требовал пересмотра геохимических функций живого вещества в биосфере. Во-вторых, масса человечества, исходя из данных демографии, не является постоянным количеством живого вещества. И в-третьих, его геохимические функции характеризуются не массой, а производственной деятельностью. Характер усвоения че-

ловечеством биогеохимической энергии определяются разумом человека. С одной стороны, человек — это кульминация бессознательной эволюции, «продукт» спонтанной деятельности природы, а с другой — зачинатель нового, разумно направленного этапа самой эволюции.

Какие же характерные особенности присущи живому веществу? Прежде всего это огромная свободная энергия. В процессе эволюции видов биогенная миграция атомов, т. е. энергия живого вещества биосферы, увеличилась во много раз и продолжает расти, ибо живое вещество перерабатывает энергию солнечных излучений, атомную энергию радиоактивного распада и космическую энергию рассеянных элементов, приходящих из нашей Галактики. Живому веществу присуща также высокая скорость протекания химических реакций по сравнению с веществом неживым, где похожие процессы идут в тысячи и миллионы раз медленнее. К примеру, некоторые гусеницы в сутки могут переработать пищи в 200 раз больше, чем весят сами, а одна синица за день съедает столько гусениц, сколько весит сама.

Для живого вещества характерно то, что слагающие его химические соединения, главнейшими из которых являются белки, устойчивы только в живых организмах. После завершения процесса жизнедеятельности исходные живые органические вещества разлагаются до химических составных частей.

Живое вещество существует на планете в форме непрерывного чередования поколений, благодаря чему вновь образовавшееся генетически связано с живым веществом прошлых эпох. Это главная структурная единица биосферы, определяющая все другие процессы поверхности земной коры. Для живого вещества характерно наличие эволюционного процесса. Генетическая информация любого организма зашифрована в каждой его клетке.

В. И. Вернадский классифицировал живое вещество на *однородное* и *неоднородное*. Первое в его представлении — это родовое, видовое вещество и т. п., а второе представлено закономерными смесями живых веществ. Это лес, болото, степь, т. е. биоценоз. Характеризовать живое вещество ученый предлагал на основе таких количественных показателей, как химический состав, средний вес организмов и средняя скорость заселения ими поверхности земного шара.

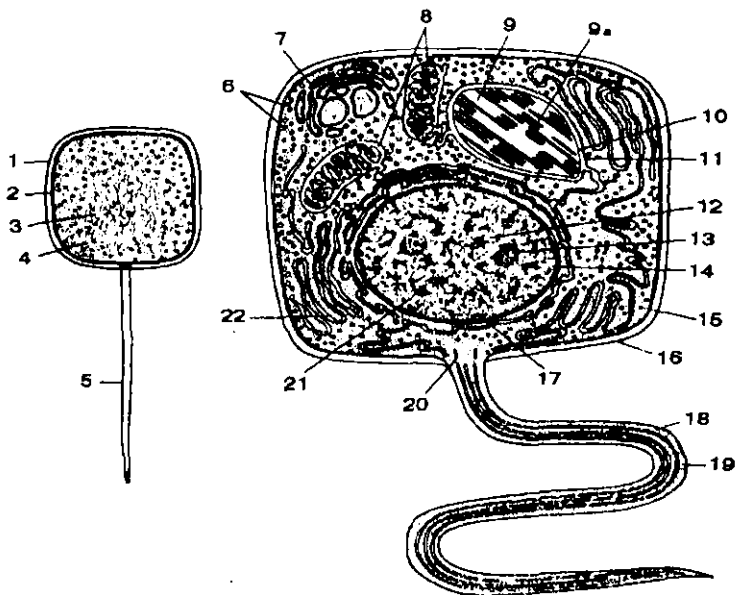


Рис. 61. Типичные клетки прокариотов (слева) и эукариотов по данным электронной микроскопии:

1 - нецеллюлозная стенка клетки, 2 - клеточная мембрана, 3 - нуклеоид, 4 - мелкие рибосомы, 5 - жгутик, 6 - крупные рибосомы, 7 - тельца Гольджи, 8 - митохондрии, 9 - пластиды, 9а - тилакоиды, 10 - внутренние мембраны пластид, 11 - пластиды внешней мембраны, 12 - клеточное ядро, 13 - ядрышко, 14 - мембраны ядра, 15 - клеточная мембрана, 16 - стенка клетки (целлюлоза или хитин); 17 - кинетохоры, 18 - жгутик, 19 - клеточная мембрана, 20 - кинетосома, 21 - хроматин, 22 - эндоплазменная клеточная сеточка

В. И. Вернадский приводит средние цифры скорости «передачи жизни в биосфере». Время захвата данным видом всей поверхности нашей планеты у разных организмов может быть выражено следующими цифрами (сутки):

Бактерия холеры ( <i>Vibrio cholerae</i> )	1,25
Инфузория ( <i>Lekconhrys patula</i> )	10,6 (максимум)
Диатомовые ( <i>Nitzschia putrida</i> )	16,8 (максимум)
Зеленый планктон	166-183 (среднее)
Насекомые ( <i>Musca domestica</i> )	366
Рыбы ( <i>Pleurettes platessa</i> )	2159 (максимум)
Цветковые растения ( <i>Trifolium repens</i> )	4076
Птицы (куры)	5600-6100
Млекопитающие:	
крысы	2800
дикая свинья	37600
слон индийский	376000

Жизнь на нашей планете существует в неклеточной и клеточной формах.

Неклеточная форма живого вещества представлена вирусами, которые лишены раздражимости и собственного синтеза белка. Простейшие вирусы состоят лишь из белковой оболочки и молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) или РНК (рибонуклеиновая кислота), составляющей сердцевину вируса. Иногда вирусы выделяют в особое царство живой природы — *Vira*. Они могут размножаться только внутри определенных живых клеток. Вирусы повсеместно распространены в природе и являются угрозой для всего живого. Поселяясь в клетках живых организмов, они вызывают их смерть. Описано около 500 вирусов, поражающих теплокровных позвоночных, и около 300 вирусов, уничтожающих высшие растения. Более половины болезней человека обязаны своим развитием мельчайшим вирусам (они в 100 раз мельче бактерий). Это полиомиелит, оспа, грипп, инфекционный гепатит, желтая лихорадка и др.

Клеточные формы жизни представлены прокариотами (организмы, не имеющие ограниченного мембраной ядра) и эукариотами (клетки содержат оформленные ядра). К прокариотам относятся различные бактерии. Эукариоты — это все высшие животные и растения, а также одноклеточные и многоклеточные водоросли, грибы и простейшие (рис. 61).

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КАК ОСНОВА СТАБИЛЬНОСТИ БИОСФЕРЫ

Современная природоохранная деятельность ориентирована прежде всего на сохранение многообразия форм жизни на Земле. Совокупность видов живых организмов на нашей планете создает особый фонд жизни, который называется генофондом. Это понятие несколько шире, чем просто совокупность живых существ. Оно включает в себя не только проявившиеся, но и потенциальные наследственные задатки каждого вида. Мы еще не все знаем о перспективах использования того или иного вида. Существование какого-то организма, кажущееся сейчас ненужным, в будущем может оказаться не только полезным, но и, быть может, спасительным для человечества.

Конечно, не каждый вид растения или животного имеет сейчас практическую ценность. Может быть, только в будущем человек обнаружит в них какие-либо полезные качества. Пример

тому — открытие одного ценнейшего лекарства. Кто бы мог подумать, что неприметная, да и в какой-то мере вредная грибная плесень из рода *Penicillium* окажется исключительно важной для рода человеческого. А ведь именно она послужила первоосновой для создания Флемингом пенициллина, который спас миллионы человеческих жизней. Многие виды животных, как, например, броненосец и белый медведь, неожиданно оказались полезными как объекты экспериментов и живые модели для создания технических новшеств. Броненосцы — единственные живые существа, не считая человека, подверженные заболеванию проказой. Теперь они стали неоценимыми помощниками в поисках средств исцеления от этой болезни. Недавно было обнаружено, что шерсть белого медведя является исключительно эффективным поглотителем тепла. мех белого медведя, отражая видимый свет, одновременно обладает свойством превращать в тепло до 95 % попадающих на него солнечных лучей. Это дало в руки исследователям ключ к созданию материалов для изготовления более совершенной одежды, удерживающей тепло, и коллекторов солнечной энергии.

**Биологическое разнообразие** включает в себя все существующие на Земле виды растений, животных и микроорганизмов. Оно охватывает и всю совокупность природных экосистем, которые слагаются этими видами. Таким образом, биоразнообразие — это разнообразие организмов и их природных сочетаний. Оно характеризует процесс реальной эволюции, который идет на многих уровнях организации живого. По оценкам ученых, общее число видов живых существ составляет от 5 до 30 млн. Из них в настоящее время описано не более 2 млн. На долю растений приходится около 500 тыс. видов. О полезных свойствах большинства организмов мы знаем очень немного. В активе человечества, например, всего около 150 видов культурных растений, которые находят широкое применение, а из 265 тыс. видов всех растительных организмов только 5 тыс. видов когда-либо возделывались человеком. В еще меньшей мере учитывается разнообразие микроорганизмов и грибов, а между тем в настоящее время насчитывается около 65 тыс. видов последних. А много ли мы их используем?

Разнообразие живой природы является основным индикатором влияния человеческой деятельности на живое окружение. С началом развития промысла крупных млекопитающих и птиц, а затем с возникновением земледелия человек вторгся в естествен-

ные, созданные природой замкнутые циклы. В каждом таком цикле любой вид живых организмов выполняет свою роль и все они находятся в неразрывной связи. Стараясь изменить природные условия, человек вступил в конфликт с силами естественной саморегуляции. Одним из результатов такого конфликта явилось снижение биологического разнообразия природных экосистем. В настоящее время число видов на Земле стремительно уменьшается. Есть угроза, что в ближайшие 20–30 лет мы потеряем около 1 млн видов. Это будет серьезным ударом по целостности и стабильности нашего природного окружения.

Биологическое разнообразие в условиях интенсификации хозяйственной и техногенной деятельности человека зависит от степени развития научно обоснованной и эффективной сети охраняемых территорий. Для сохранения биоразнообразия видов необходимо сохранить разнообразие экосистем, и наоборот, поддержание экосистем в естественном состоянии невозможно без сохранения их видового разнообразия. Главная проблема охраны природы в настоящее время – не защита какого-то количества видов растений или животных от угрозы исчезновения, а сочетание высокого уровня продуктивности с сохранением в биосфере широкой сети центров генетического разнообразия. Биологическое разнообразие фауны и флоры обеспечивает нормальный круговорот веществ, устойчивое функционирование экосистем. Если страны смогут решить эту важную экологическую задачу, в будущем можно рассчитывать на производство новых продуктов питания, лекарственных средств, сырья для промышленности.

В «Конвенции о биологическом разнообразии», принятой 5 июня 1992 г., в качестве основной цели провозглашается «сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его компонентов и совместное получение на справедливой и равной основе выгод, связанных с использованием генетических ресурсов».

Для контроля и сохранения биологического разнообразия ландшафтов умеренной природной зоны разрабатывается и внедряется комплекс относительно недорогостоящих мероприятий. Прежде всего это выделение участков, на которых сохраняются в неприкосновенности места обитания диких животных. В естественных лесах обитают более разнообразные популяции диких животных, чем в лесонасаждениях столетней давности. При вырубке лесов необходимо стремиться к сохранению отдельных деревьев самых различных видов и возрастов. Даже несколько старых омертвевших деревьев играют важную роль в сохранении отдельных видов насекомых и птиц.

Можно создать условия для обитания птиц и животных под опорами линий электропередач, в старых заброшенных карьерах, путем посадки деревьев и кустарников на крутых откосах, мало-пригодных для сельскохозяйственного использования, и т. д. Важно сохранять также небольшие, площадью всего несколько квадратных метров, заболоченные участки и влажные луга, которые являются местом распространения ряда видов растений.

Особые требования предъявляются к естественным и искусственным водоемам. Берега должны иметь неправильную форму и полого погружающееся дно, что, с одной стороны, содействует развитию водных растений, с другой — обеспечивает диким животным защиту и укрытие.

Все эти комплексные мероприятия могут в значительной степени содействовать сохранению флоры и фауны даже в густонаселенных районах. Так, в условиях больших городов можно создавать искусственные экосистемы, сохраняя пустыри с комплексом растений, птиц и насекомых.

Проблема сохранения биологического разнообразия живых организмов планеты в настоящее время является наиболее острой и значимой для человечества. От того, как и каким образом будет решена эта проблема, зависит возможность сохранения жизни на Земле и самого человечества как части биосферы.

## **ГЛОБАЛЬНЫЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ В БИОСФЕРЕ**

Глобальный биогеохимический круговорот в биосфере не является целиком замкнутым. В отдельных случаях степень повторяющегося воспроизводства некоторых циклов составляет 90—98 %. Такая неполная замкнутость биогеохимических циклов в масштабах геологического времени приводит к дифференциации элементов и накоплению их в различных природных сферах Земли.

Непрерывному круговороту в биосфере Земли подвергаются только вещества. Когда речь идет об энергии, можно говорить лишь о ее направленном потоке. Передаваясь по трофическим цепям, энергия постепенно рассеивается. Частично она накапливается в земной коре в алюмосиликатах в результате разложения органических остатков.

Обновление живого вещества биосферы происходит за 8 лет. Фитомасса суши (биомасса наземных растений) обновляется за 14 лет. Масса живого вещества океана обновляется за 33 дня, а

его фитомасса — за один день. Полная смена вод в гидросфере осуществляется за 2 800 лет, смена кислорода в атмосфере — за несколько тысяч лет (до 3 000), а углекислого газа — за 6,3 года. Общепланетарные климатические и геохимические циклы, охватывающие атмосферу, океан, толщу донных осадков и кору выветривания, протекают крайне медленно и исчисляются сотнями тысяч и миллионами лет. (Здесь следует заметить, что вмешательства человека, происходящие в крайне короткие сроки, искусственно интенсифицируют эти процессы, что чревато тяжелыми последствиями.)

Развитие и функционирование живого вещества изменили океан, атмосферу, поверхность земной коры, привели к образованию почвенного покрова. Почва вместе с растениями и животными образует на суше сложную экологическую систему, которая связывает и перераспределяет солнечную энергию, углерод атмосферы, влагу, кислород, водород, фосфор, азот, серу, кальций и другие элементы-биофилы. Те же функции выполняет и мировой океан. Жизнедеятельностью растительных организмов и их взаимодействием с животными, микроорганизмами и неживой природой обеспечивается механизм фиксации, накопления и перераспределения космической энергии, поступающей на Землю. Эта энергия аккумулируется в органических соединениях, слагающих биомассу живого вещества.

За миллиарды лет эволюции на нашей планете сложились великий биогеохимический круговорот и дифференциация химических элементов в природе. На первых этапах своей истории человек стал звеном этого круговорота веществ и потока энергии вместе с животным населением. Однако в настоящее время хозяйственная деятельность человека привносит значительные изменения в биогеохимические циклы элементов в биосфере. Например, в результате производства удобрений азот атмосферы возвращается в почвы в размерах, превышающих его биологическую фиксацию. Рассеянные в виде следов ртуть, свинец, кадмий добываются, концентрируются и включаются в больших количествах в биосферу.

Элементами круговорота веществ в природе являются:

- регулярно повторяющиеся или непрерывно текущие процессы переноса энергии, образование и синтез новых соединений;
- постоянные или периодические процессы переноса и перераспределения энергии и процессы выноса и перемещения синтезированных соединений;



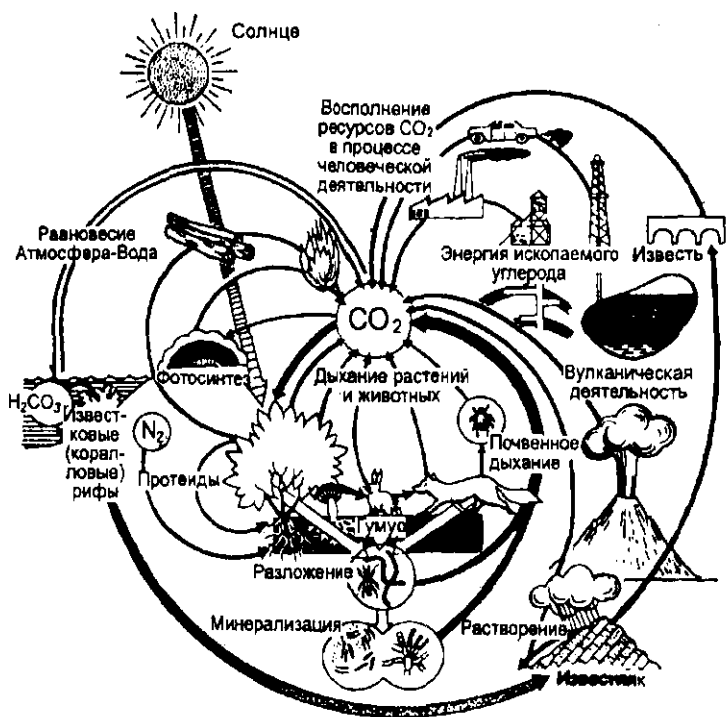


Рис. 62. Круговорот углерода в биосфере

- направленные процессы последовательного преобразования, разложения и деструкции синтезированных ранее соединений под влиянием биогенных или абиогенных воздействий среды;
- постоянное или периодическое образование простейших минеральных и органоминеральных компонентов в газообразном, жидком или твердом состоянии.

Важнейшую роль в биосфере играют биогеохимические круговороты таких элементов, как углерод, кислород, азот, фосфор, сера.

**Круговорот углерода.** В наиболее общем виде его можно представить как процесс освобождения и связывания диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), включая его растворение в воде океанов (рис. 62). В. И. Вернадский в своем труде о биосфере писал: «Преобладающее, особое значение атомов углерода свойственно

не только живым организмам, это свойство биосферы, ее живой и косной материи, до известной степени всей земной коры». С углеродом связан процесс возникновения и развития жизни на Земле. По распространению углерод занимает на планете одиннадцатое место. В атмосфере его содержится 0,034 % в форме углекислого газа и 0,00016 % в форме метана; в земной коре — 0,35 % и в живом веществе — около 18 %. Он вовлекается в цепь непрерывных реакций и биогеохимических круговоротов, соединяясь с большинством элементов самыми разнообразными способами. В то же время связь атомов углерода между собой и с другими атомами (кислорода, водорода, серы, фосфора и др.) может быть разрушена под воздействием природных факторов.

Предполагается, что углерод распределен в довольно тонком слое земной коры, в атмосфере — в виде диоксида и оксида углерода, а также в животной и растительной биомассе. Основные запасы углерода в минералах и горных породах (в известняках и доломитах), в основном в форме карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) и гидрокарбонатов ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), представляющих собой растворимые и нерастворимые донные отложения в Мировом океане, накопившиеся за миллионы лет геологической истории Земли. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Углекислый газ, содержащийся в воздухе и растворенный в воде, составляет запас углерода, участвующего в создании биомассы. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет менее одного процента. Оно нестабильно и подвержено сезонным изменениям. В настоящее время наблюдается его увеличение, связанное с антропогенным фактором. Если сто лет назад содержание углекислого газа составляло примерно 270 частей на миллион, то сегодня эта цифра выросла до 350 частей на миллион.

Постепенно растет (на 1–2 % ежегодно) содержание в атмосфере метана и оксида углерода, что тоже связано с сельским хозяйством и энергетикой. В тех районах, где в процессе выработки энергии потребляется большое количество ископаемого топлива, зарегистрирован небольшой, но неуклонный рост концентрации оксидов азота и серы.

Если сравнить содержание диоксида углерода в водах (реки, озера, моря), атмосфере и океане, то окажется, что Мировой океан содержит более 98 % общего запаса  $\text{CO}_2$  атмосферы и гидросферы.

Следует подчеркнуть, что цикл биологического круговорота углерода не замкнут. Углерод может выходить из него на довольно длительный срок в виде карбонатов, торфов, сапропелей, гумуса и других органических осадков. В разных циклах биоло-

гического круговорота участвует около 98–99 % ассимилированного углерода.

Огромную роль в круговороте углерода играют зеленые растения. В процессе фотосинтеза диоксид углерода из атмосферы ассимилируется растениями и превращается в углеводы. В процессе же дыхания происходит обратный процесс: углерод органических соединений превращается в углекислый газ.

Ежегодно наземные растения связывают около 18 млрд т углерода, растения морей – 25 млрд т. Еще одним мощным утилизатором углерода являются морские организмы. Они используют соединения углерода для образования скелетов. В дальнейшем остатки отмерших морских организмов опускаются на дно морей и океанов и образуют мощные отложения известняков.

Давайте проследим «путешествие» атома углерода в биосфере. Представьте себе извержение вулкана. Наконец-то для нашего атома закончилось время заточения глубоко в недрах Земли и он вырывается на свободу в атмосферу. В виде молекулы углекислого газа связанный с атомами кислорода он беззаботно «плавает» в атмосфере в течение нескольких лет. И вот однажды прекрасный цветок или кудрявое дерево бесцеремонно захватывает его, вовлекает в процесс фотосинтеза и превращает в более восстановленную химическую форму. Если же атом будет проплывать над океаном, то, скорее всего, попав в толщу воды, он превратится в ион бикарбоната и будет блуждать тысячи лет между атмосферой, почвами и океаном. В конце концов свобода обернется для него захоронением в океанических отложениях, где наш углерод, лишенный движения, просуществует в течение ста миллионов лет или более.

Подсчитано, что среднестатистический атом углерода за всю историю Земли (4–4,5 млрд лет) мог совершить до 20 таких путешествий между осадочными породами и атмосферой.

Судьба углерода непосредственно связана с судьбой кислорода, поскольку на каждую молекулу кислорода должна где-то существовать и молекула восстановленного углерода. Это позволяет оценивать запасы углерода в биосфере величиной порядка  $2 \cdot 10^{15}$ – $2 \cdot 10^{16}$  т. Казалось бы, такого количества углерода должно хватить на многие миллионы лет. Так оно и есть. Сложность, однако, в том, что большая часть этого элемента распылена. А то, что мы извлекаем на поверхность Земли в виде угля, нефти и других полезных ископаемых, это лишь малая доля общего количества восстановленного углерода в осадочных породах.

В воде углекислый газ растворяется в 35 раз лучше, чем кислород, и от его содержания зависит количество растворенных гидрокарбонатов, т. е. жесткость воды. Если содержание  $\text{CO}_2$  в воде уменьшается, выпадает осадок нерастворенного карбоната, который растворится при восстановлении равновесия между углекислым газом и гидрокарбонатом.

В технике и быту нарушение углекислотного равновесия приводит к образованию накипи в котлах ТЭЦ, котельных и других системах, использующих воду. В природных условиях результатом этой реакции является образование полостей в земной коре, сталактитов и сталагмитов.

**Круговорот кислорода.** Этот цикл очень сложен из-за большого числа его участников. В него вовлечено большое количество представителей органического и неорганического мира, а также водород и вода, растворяющая кислород. Кислород постоянно циркулирует в океане, биосфере и осадочных породах. Содержание кислорода в воде зависит от его растворимости на поверхности и от интенсивности фотосинтеза водорослями. Загрязнение воды взвешенными частицами уменьшает ее прозрачность, увеличивает рассеяние света и снижает активность фотосинтеза. Содержание кислорода в воде является одним из показателей ее здоровья. По данным замеров в большинстве водоемов эта величина сейчас ниже нормы.

В процессе сгорания топлива образуется довольно большое количество воды, которая в конечном счете потребляется растением и разлагается в процессе фотосинтеза на атомарные водород и кислород. Высвободившийся кислород снова поступает в атмосферу и используется для создания органического вещества. Круг замыкается (рис. 63).

Итак, главным производителем животворного кислорода является зеленое вещество растений. Растения — единственные естественные накопители космической солнечной энергии. Главные же потребители его — живые организмы: человек, животные, почвенные организмы и сами растения, которые используют кислород в процессе дыхания. Причем, если на заре человечества кислород в основном тратился человеком на дыхание, то в наше время научно-технических революций огромная масса кислорода идет на обеспечение промышленного производства, хозяйственной деятельности человека и средств коммуникации. В огромных количествах истребляет человек драгоценный кислород при сжигании топлива в двигателях автомобилей, самолетов, кораблей, сельскохозяйственных машин, топках электростанций и т. д.

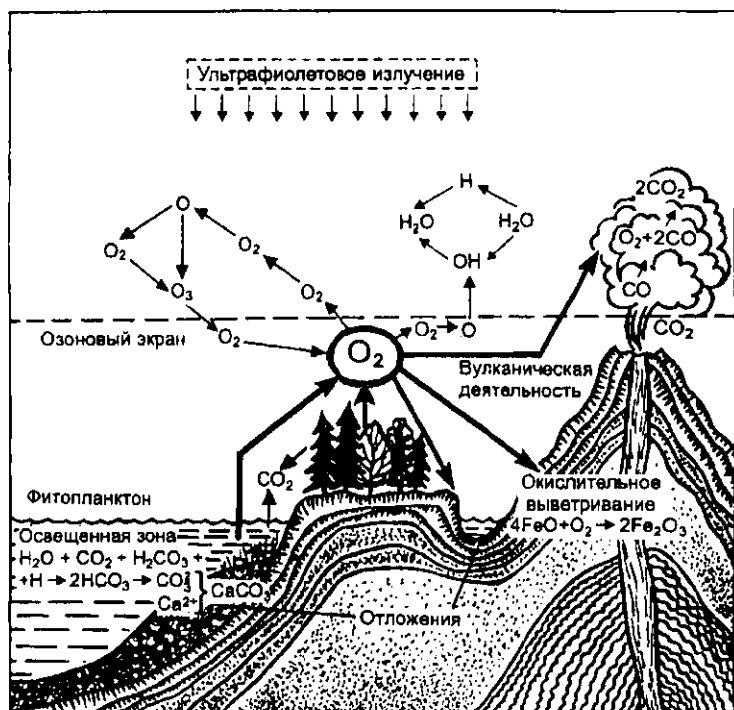


Рис. 63. Круговорот кислорода в биосфере

Одной из самых негативных сторон современной цивилизации является то, что темпы хозяйственной деятельности человека увеличиваются, а зеленые площади Земли сокращаются. Нешадно вырубаются тропические леса, которые являются основным поставщиком кислорода – «легкими нашей планеты». В мире в целом ежегодно исчезают лесные территории площадью в три Бельгии. И мы, жители Земли, получаем кислорода все меньше. Леса тропиков вырубаются сейчас со скоростью 23 га в минуту, т. е. более трети гектара в секунду! А между тем каждый гектар тропического леса продуцирует 28 т кислорода.

Взрослое дерево за сутки производит 180 л кислорода, а взрослый человек потребляет его в количестве 360 л, если ничего не делает, и до 700–900 л, когда работает. Но это сущий пустяк по сравнению с легковым автомобилем, который за 1000 км пробега расходует столько кислорода, что его хватило бы человеку

на год! Однако и это покажется малостью по сравнению с тем, что современный реактивный самолет за время перелета из Америки в Европу сжигает от 35 до 55 т кислорода.

Таким образом, деятельность человека во всех ее проявлениях значительно влияет на современный круговорот кислорода. Общее количество свободного кислорода в атмосфере оценивается цифрой  $1,8 \cdot 10^{15}$  т. Это именно то количество, которое накопилось в процессе жизнедеятельности зеленых растений. В год на современном этапе эволюции Земли продуцируется  $1,55 \cdot 10^9$  т кислорода, а расходуется  $2,16 \cdot 10^{10}$  т. Из приведенных цифр видно, что расход кислорода превышает его образование более чем на порядок. Есть над чем задуматься.

**Круговорот азота.** Особое место среди биогенных элементов занимает азот – важный строительный материал для белков, нуклеиновых кислот и других соединений (рис. 64). Азот распространен в биосфере крайне неравномерно. В больших количествах он содержится в биогенных ископаемых (уголь, нефть, битум, торф). Вследствие высокой растворимости солей азотной кислоты и солей аммония содержащегося в почвах азота, как правило, недостаточно для нормального питания растений. В почве его содержится всего от 0,02 до 0,5 %, и то лишь благодаря деятельности некоторых микроорганизмов и разложению органических веществ. В то же время миллионы тонн атмосферного азота «давят» на поверхность Земли. Над каждым гектаром почвы, образно говоря, висит до 80 тыс. т азота. Недаром его называют инертным газом (в переводе с греческого «безжизненным»). Почему же так получается? Дело в том, что в воздухе азот находится в молекулярном состоянии, то есть в бездействии. Элементом жизни он становится только в химических соединениях – легкорастворимых азотнокислых и аммиачных солях. Несмотря на то что азота в атмосфере очень много (78 %), большинство организмов не в состоянии ассимилировать его. Азот практически не участвует в геохимических процессах и лишь накапливается в атмосфере.

Пути поступления азота в почву различны. Прежде всего это выпадение его из атмосферы вместе с дождевыми водами, главным образом во время гроз. Небольшая часть азота поступает при вулканических извержениях. Еще один источник – биологическая фиксация газообразного азота из атмосферы клубеньковыми бактериями и цианобактериями. И, наконец, почва обогащается азотом в результате разложения органических соединений. Все

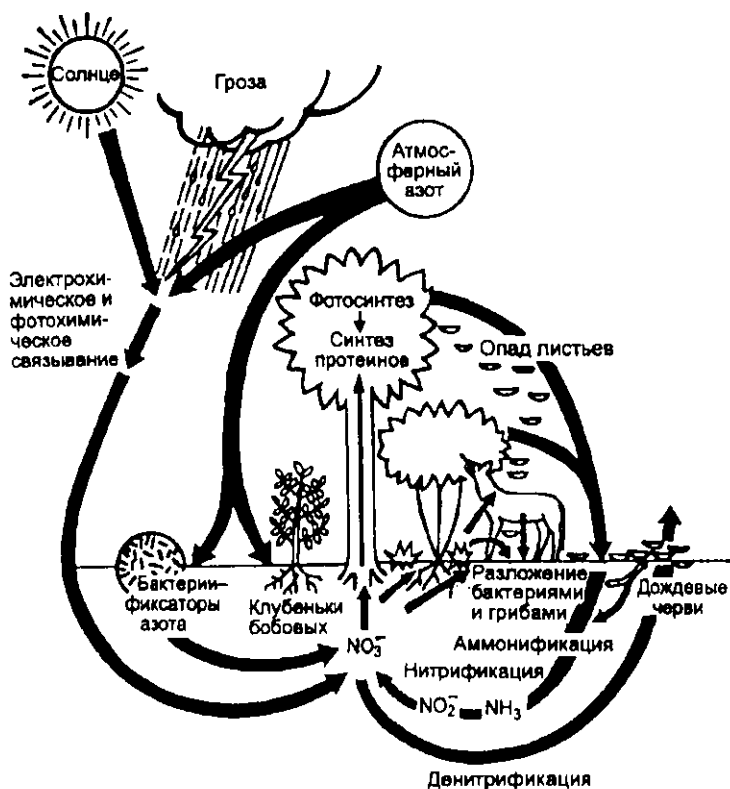


Рис. 64. Круговорот азота в биосфере

это происходит естественным путем. Между тем имеется еще один мощный источник азота — это различные азотсодержащие удобрения. В мире ежегодно производится и вносится в почву 30–40 млн т азота в виде минеральных удобрений. Азотные удобрения уже составляют до 30 % общих поступлений азота на сушу и в океан.

Буквально купаясь в атмосфере азота, растения не в состоянии извлечь его из атмосферы. Это свойство присуще живущим в клубеньках некоторых из них азотфиксирующим бактериям. Такой особенностью обладают, в частности, арахис, соя, чечевица, фасоль, люцерна, клевер ползучий, люпин и другие виды. Основными азотфиксаторами являются бактерии рода *Rhizobium*. Они

поселяются в клубеньках, образующихся на корнях бобовых, и повышают плодородие почвы, обогащая ее азотистыми основаниями. Азот усваивается растениями в виде нитратов и нитритов. Затем он передается по пищевым цепям. А когда после отмирания организмов их остатки разлагаются бактериями, азот частично переходит в почву в виде солей, а частично возвращается в атмосферу в молекулярной форме. Небольшая часть азота снова переводится в аммиак и нитраты и может быть усвоена растениями.

В атмосферу азот поступает благодаря деятельности почвенных и водных бактерий, которые разрушают нитраты. Этот процесс называется *денитрификацией*. Из атмосферы азот поглощает другая группа микроорганизмов – азотфиксирующие бактерии (в этом процессе могут участвовать и водоросли).

**Круговорот фосфора.** Биологическое и биохимическое значение фосфора в жизни живой клетки, организмов, экосистем и биосферы в целом исключительно велико. Фосфор входит в состав тканей мозга, скелета, панцирей животных. Без фосфора невозможен синтез белка. Так же как кислород, углерод и азот, фосфор является биофилом, и его биогеохимический круговорот протекает совместно с этими элементами (рис. 65). В биосфере преобладают соединения пятивалентного фосфора, поэтому обычно во всех источниках приводится содержание его оксида  $P_2O_5$ .

Среднее содержание фосфора в земной коре составляет 0,09 %. Основные запасы его находятся в горных породах земной коры, в донных отложениях морей и океанов, в гумусовом горизонте наземных и подводных почв. Главное геохимическое направление мирового круговорота соединений фосфора направлено в сторону озер, устьев рек, морей и шельфа океана.

Общие запасы фосфора в почве очень малы – 0,1–0,2 %  $P_2O_5$ . Из этого общего количества фосфора растениям относительно доступно только 10–20 %, малодоступно – 50–60 % и практически недоступно – 20–40 %. При высоких урожаях из гектара почвы извлекается до 60 кг  $P_2O_5$ , а притока его из атмосферных осадков или биогенной фиксации из воздуха не существует. Поэтому даже на лучших почвах после 40–50 лет эксплуатации без внесения фосфорных удобрений урожайность сильно падает.

Исследования многих ученых показывают, что в почвах и водах суши и океана почти всегда ощущается дефицит фосфора. Поэтому соединения фосфора, как и азота, являются важнейши-



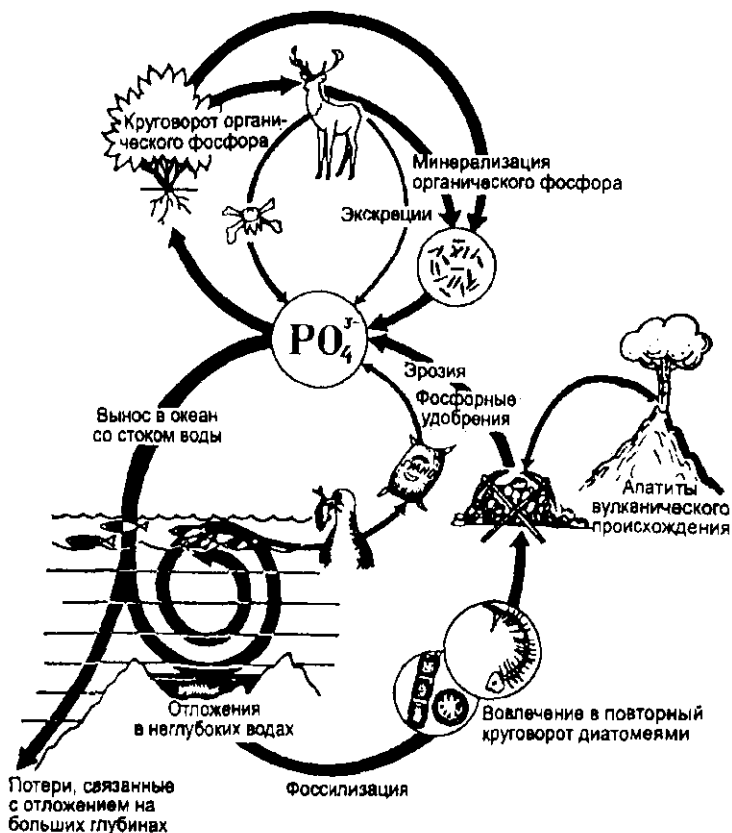


Рис. 65. Круговорот фосфора в биосфере

ми минеральными удобрениями почв в современном земледелии. Дефицит фосфора для растений объясняется низкой физиологической доступностью его нерастворимых соединений и особенно необратимой фиксацией в почве самого фосфора. Более всего доступен растениям фосфор органических соединений и гумуса.

Живое вещество ненарушенной биосферы и экосистемы суши удерживают огромное количество фосфора. Есть данные, свидетельствующие о том, что в лесных подстилках содержание фосфора может достигать 100 кг/га. Гумусовая оболочка почвы является естественным аккумулятором соединений этого элемента. Содержание фосфора в почве значительно превышает таковое в

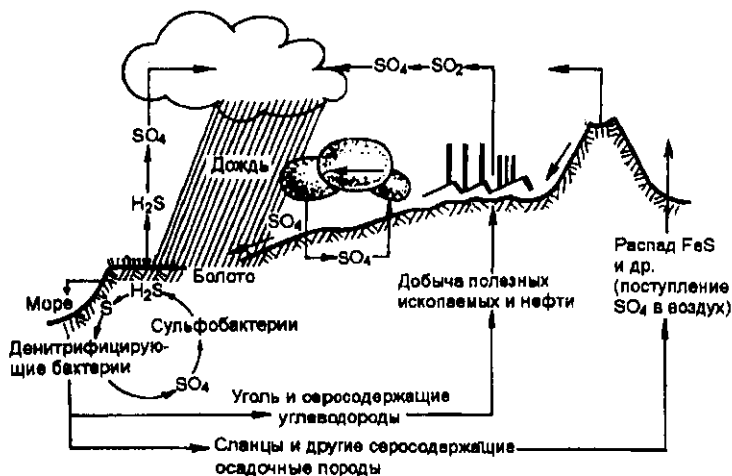


Рис. 66. Круговорот серы в биосфере

земной коре. В связи с этим сведение лесов, уничтожение лесной подстилки и замена естественных лесных экосистем агроэкосистемами приводит к изменениям запасов фосфора и его круговорота в биосфере.

**Круговорот серы.** Сера также играет существенную роль в круговороте веществ в биосфере (рис. 66). Соединения серы участвуют в биохимических процессах живой клетки, формировании химического состава почв, в больших количествах содержатся в подземных водах. Основную роль в обменном фонде серы играют специализированные микроорганизмы. Каждый вид микроорганизмов выполняет определенную реакцию окисления или восстановления этого элемента.

В земной коре в среднем содержится 0,047 % серы. В почвах, где сера присутствует преимущественно в виде сульфатов, ее количество может колебаться от 0,01 до 2–3 %. В природе сера образует минералы, называемые сульфидами. Очень много серы в изверженных горных породах в виде сульфидных минералов. При окислении сульфидных минералов сера в виде иона  $\text{SO}_4^{2-}$  попадает в Мировой океан, где поглощается морскими организмами. Отдельные виды морских обитателей известны как рекорсмены по накоплению серы. Так, некоторые моллюски северных морей выделяют пищеварительными железами жидкость, в которой содержится до 4 % серной кислоты. Круговорот серы в мор-

ской воде осуществляется с помощью сульфатредуцирующих бактерий, которые существуют в анаэробных (бескислородных) условиях. Они восстанавливают сульфаты морской воды до сероводорода, который поднимается в верхние толщи воды, и окисляется под действием кислорода, а также при участии аэробных сернистых бактерий. Некоторые бактерии способны концентрировать элементарную серу в своих организмах. После гибели таких бактерий она может накапливаться в значительных количествах на дне океана.

На суше сера после отмирания растений переходит в почву, где одни микроорганизмы восстанавливают органическую серу до минеральной, а другие окисляют эту минеральную форму до сульфатов. Последние поглощаются корнями растений, и сера снова вовлекается в круговорот.

Аналогично нитратам и фосфатам сульфат серы является основной доступной формой этого элемента, которая восстанавливается автотрофными организмами и включается в белки. Круговорот серы является ключевым в общем процессе синтеза и разложения биомассы. В настоящее время техногенные выбросы серы в атмосферу Земли достигают 75–100 млн т в год. Естественное ее поступление (в форме оксидов серы) оцениваются цифрами 80–280 млн т в год. Если брать нижние границы, то можно считать, что глобальный объем естественных выбросов серы примерно соответствует ее техногенным эмиссиям.

## ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

В процессе своей жизнедеятельности человек превращает земную поверхность в города и окультуренную землю. Изменяя характер химических процессов и химических продуктов, человек совершает работу космического характера. Таким образом, человек становится мощнейшим геологическим фактором.

Геохимические изменения, вызванные деятельностью человека, приводят к росту числа новых элементов и их изотопов, вовлекаемых в биосферу. До XVIII в. человек использовал в научных исследованиях и хозяйстве всего 12 элементов (углерод, свинец, олово, ртуть, серебро, медь, сера, золото, железо, мышьяк, сурьма, фосфор). В XVIII в. их стало 37 (добавились платина, цинк, никель, титан, марганец и др.), в XIX в. их число составило уже 75–76, а в XX в. науке стало известно уже более 100 элементов, стабильных и радиоактивных изотопов. Легко обнаружива-

ются, активно извлекаются и вовлекаются в круговорот веществ в количествах сотен тысяч и десятков миллионов тонн кремний, углерод, железо, ртуть, медь, золото, натрий, хлор, титан, цинк. Чуждые биосфере токсичные элементы Pb, Cr, Ni, As, Br, Mo, Cd, Hg и др. поступают в природную среду и оказывают на нее отрицательное воздействие.

В современной биосфере благодаря техногенной деятельности человека происходят грандиозные миграции атомов, их рассеяние и концентрация. Месторождения полезных ископаемых, создаваемых природой миллионы лет, человек расходует (а значит, способствует рассеиванию элементов) за десятилетия. В природе создаются не свойственные ей концентрации различных элементов.

Используя наряду с солнечной энергию ископаемого топлива, а также энергию деления ядер урана, человек привносит в биосферу огромное количество дополнительной энергии. Часть этой энергии идет на производство определенных видов работы, а часть в соответствии со вторым законом термодинамики рассеивается и выделяется в виде тепла. Это в определенной степени влияет на тепловой режим биосферы. И хотя эффект такого нагрева пока невелик, тем не менее температура городских экосистем (особенно в холодное время года) несколько выше, чем в сельской местности.

Во многих процессах своей деятельности человек осуществляет реакции, не свойственные природе, и получает вещества, никогда в ней не существовавшие и неустойчивые. К такому роду деятельности можно отнести металлургические процессы, при которых человек в чистом виде получает различные металлы. Сложность заключается в том, что взятые у природы в концентрированном виде металлы из-за коррозии рассеиваются при использовании, и снова сконцентрировать их и использовать уже не удастся. Достаточно вспомнить о тех колоссальных усилиях, которые делаются во всем мире для борьбы с коррозией, скажем, железа.

С ходом геологической эволюции биосферы Земли возрастала ее энергообеспеченность. В настоящее время не только используются ее огромные энергетические ресурсы (уголь, нефть, газ и др.), но и работают небiosферные источники (энергия атома).

## ПОНЯТИЕ НООСФЕРЫ ПО В. И. ВЕРНАДСКОМУ

В 20-е годы нашего столетия В. И. Вернадский работал над проблемой химического строения биосферы Земли. Эволюция биосферы связывалась им с эволюцией жизни на Земле. Ученый делает общий вывод: «Эволюция биосферы связана с усилением эволюционного процесса живого вещества». В своих трудах по биогеохимии он обосновал общую схему эволюции верхней оболочки нашей планеты, и пришел к необходимости анализа роли Человека разумного во всем этом процессе. В результате родилось научное направление, которое получило название учения о ноосфере.

Смысл этого учения состоит в следующем. Появление на Земле человека означало новый огромный шаг в эволюции планеты. Его активность многократно ускоряет все эволюционные процессы, темпы которых быстро растут по мере развития производительных сил, технической вооруженности цивилизации. Дальнейшее неконтролируемое, ненаправленное развитие деятельности людей таит в себе опасности, которые трудно предвидеть. Именно поэтому неизбежно настанет время, когда дальнейшая эволюция планеты, а следовательно, и человеческого общества должна будет направляться разумом. Биосфера постепенно станет превращаться в сферу разума.

История человеческого общества изобилует различного рода экологическими кризисами. Такие кризисы всегда возникали там и тогда, где и когда человек начинал интенсивно изменять природу. Даже десятки тысячелетий назад человек не был рачительным хозяином всего того богатства, которое оказалось в его руках. Вместо этого он стал смело и бездумно использовать гигантскую силу своего разума, чтобы покорять природу.

На вопрос о том, когда же человек начал изменять природу, американский биолог Пол Эрлих ответил однажды так: «Точно сказать не могу, но это произошло, видимо, от пятнадцати до двадцати пяти тысяч лет тому назад. Все началось тогда, когда первый крестьянин бросил в почву первое зерно в надежде, что оно даст ему новое растение и принесет двадцать новых зерен. Так человек начал систематическое преобразование природы».

Толчок самой первой в истории человечества научно-технической революции был дан неким безымянным доисторическим Эйнштейном, посадившим во влажную землю первое зерно и вызвавшим этим поступком сельскохозяйственную революцию со всеми сопутствующими ей социальными потрясениями.

И хотя сейчас никого не волнует судьба исчезнувшего с лица Земли мамонта или саблезубого тигра, наш мир наверняка будет беднее, если человек допустит исчезновение слона, тигра или носорога. В свое время немецкий философ Иммануил Кант утверждал, что человек имеет обязательства только перед самим собой. Так ли это? Не несет ли он подобные обязательства перед теми живыми существами, которые окружают его: перед зеленой травинкой, певчим дроздом или исполинским китом?

Нельзя, однако, сказать, что человек только и делал, что бездумно и методично разрушал дом, в котором живет. На разных стадиях развития биосферы определенные цивилизации проявляли особое уважение к живому, справедливо полагая, что их жизнь в полной мере зависит от даров природы. И хотя уже на стадии собирательства и охоты человек извел всех крупных млекопитающих (прежде всего копытных), чем поставил себя перед лицом экологической катастрофы, он нашел в себе силы и умение обратиться лицом к природе, перейдя от охотничьего образа жизни и собирательства к оседлому земледелию. Видимо, человечество рано поняло, что пользоваться природными богатствами необходимо разумно, не нарушая при этом продуктивных физических и биологических природных механизмов и сохраняя тем самым основу своего существования.

Эти процессы хозяйствования в природной среде продолжают и теперь, поскольку никто еще пока не в силах сконструировать искусственную фабрику получения органических веществ из неорганических соединений, с чем на первый взгляд довольно легко справляются зеленые растения.

В ходе сельскохозяйственной деятельности человечество изобрело массу различных предметов — от плуга и лошадиного хомута до пресса, паруса и помпы. Все эти продукты аграрного образа жизни, точнее, процессы, с ними связанные, имели определенное воздействие на природу, правда, поначалу весьма ограниченное. Иначе обстоит дело на современном этапе эволюции человека и природы. Промышленная цивилизация и сельскохозяйственная революция охватили весь мир. Человек оказался подхваченным вихрем демографического взрыва и вовлеченным в стремительный темп современной жизни. Наши разнообразные потребности — действительные и надуманные — в последнее время начали оказывать на природу столь мощное давление, что возникла вполне реальная угроза самому существованию Человека разумного как биологического вида.

Постепенно человек перестал быть гармоничной частью биосферы, выйдя за пределы ее ресурсных циклов. Мощь цивилизации возрастает неизмеримо быстрее, чем способность природы к самовосстановлению. И здесь важно знать те критические значения параметров биосферы, за которыми может начаться непредсказуемое развитие природных сил и переход современной биосферы в новое состояние, где для человека (увы!) места может не оказаться.

Следует отметить, что тревожные мысли, касающиеся будущего человечества, высказывались еще в прошлом веке крупными представителями философии, науки и культуры. Хорошо знакомый нам Ж. Б. Ламарк в начале XIX в. написал следующие слова: «...назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания».

Происхождение термина **ноосфера**, так же как и смысл, который в него вкладывают, неоднозначны. В. И. Вернадский начал пользоваться им лишь в конце своей жизни.

13 декабря 1922 г. в Латинском квартале Парижа появились афиши о лекциях В. И. Вернадского в Сорбонне. Свои идеи о космичности живого вещества он излагал по-французски. Лекции пробудили множество свежих мыслей у слушателей. Идеи В. И. Вернадского многим пришлись по душе. Именно эти лекции и стали толчком к разработке французским математиком Эдуардом Леруа концепции о ноосфере. В 1927/28 гг. он выступил со своим пониманием сферы разума в высокоинтеллектуальном учебном заведении Парижа «Коллеж де Франс», где впервые употребил термин «ноосфера» (от греч. «ноос» – разум). Своим соавтором он назвал друга и единомышленника Пьера Тейяра де Шардена, палеонтолога и философа.

Таким образом, духовным предтечей идеи ноосферы стал русский ученый В. И. Вернадский, в дальнейшей ее разработке принимали участие французы Леруа и Тейяр де Шарден. С тех пор новое учение стали называть **учением о ноосфере**.

Позже эта идея захватила умы многих известных во всем мире ученых, что само по себе говорит о ее значимости и глобальном характере. Проблема ноосферы возникла закономерно – как для отдельных ученых, так и для человечества в целом.

«Философский энциклопедический словарь» определяет ноосферу как «сферу взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным определяющим фактором развития».

Употребляя термин «ноосфера», экологи имеют в виду прежде всего тот комплекс проблем, решение которых необходимо для осуществления направленного развития биосферы. Говоря об «эпохе ноосферы», мы подчеркиваем еще одну важную сторону учения В. И. Вернадского. Оно утверждает не только необходимость целенаправленного развития биосферы, подчиненного обеспечению дальнейшего развития цивилизации, но и такого изменения общества, его природы и организации, которые были бы способны обеспечить нужную гармонию в развитии природы и общества.

Ноосфера, по В. И. Вернадскому, – это биосфера, разумно управляемая человеком. Он отмечал, что возникновение ноосферы как части биосферы есть природное явление, гораздо более глубокое и мощное в своей основе, чем человеческая история. «...Все человечество, вместе взятое, представляет ничтожную массу вещества планеты. Мощь его связана не с его материей, но с его мозгом, разумом и направленным этим разумом его трудом. Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше». В.И. Вернадский понимал под ноосферой не нечто внешнее по отношению к биосфере, а новый этап в ее развитии, этап разумного регулирования отношений между человеком и природой.

Для В. И. Вернадского ноосфера – это естественный процесс, один из моментов эволюции материи. Практическая деятельность человека не зависит от полного понимания мироустройства. Человек действует методом проб и ошибок. Он не просто живет в природе, но замещает в ней естественное искусственным, создает вторую природу. Именно поэтому появились техногенная среда, техногенные ландшафты. Введение категории искусственного в структуру естественного является исходным пунктом экологизации последнего. Вообще, можно сказать, что экология и экологические проблемы возникли там и тогда, где и когда человек начал активно вмешиваться в жизнь природы, навязывая искусственные элементы. Это, к примеру, появление первых сельскохозяйственных орудий. Их создание привело к разрыву естественных связей в природе и возникновению самых различных проблем, до конца осмысленных только в нашем веке и названных экологическими. Перед учеными (экологами, физиками, химиками, генетиками и пр.) возникла проблема, решить которую на основе три-



виальных, устоявшихся представлений о природной среде оказалось не так-то просто. Природа Земли фактически постоянно разными темпами изменялась (и изменилась), а законы природы, открытые Коперником, Кеплером, Галилеем, Ньютоном, остались прежними и действуют вне воли человека. Запуски космических кораблей происходят в точности с представлениями о законах природы, однако эти полеты реализуют новый тип связи человека и природы и формируют новые свойства цивилизации.

Концепция ноосферы рассматривает коэволюцию человека и биосферы. Ноосфера – это универсальная совокупность связей природы и общества, которые позволяют установить искусственный и естественный компоненты человеческой деятельности и проецируют их на эволюцию биосферы. В. И. Вернадский учил: человек должен понять, «что он не есть случайное, независимое от окружающего (биосферы или ноосферы) свободно действующее природное явление. Он составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение по крайней мере двух миллионов лет».

Что несет для биосферы развитие цивилизации и функций человечества? Прежде всего, существенные изменения среды обитания, изменения ландшафтов, продуктивности наземных экосистем, изменения в трофических цепях. Меняется сама роль человека в природе и в эволюции живых форм. Неуклонно уменьшается площадь естественных экосистем в природных ландшафтах за счет расширения доли участия искусственных экосистем, назначение которых – обеспечение человечества необходимыми продуктами питания и потребления. Эксплуатация природных ресурсов постоянно возрастает, а это неизбежно ведет к обострению кризиса в отношениях человека и природы.

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БИОСФЕРЕ. ТЕХНОСФЕРА**

Вопрос о разнокачественности живого и неживого тесно связан с вопросом об эволюции биосферы. Постоянен или нет общий вес живого вещества биосферы на протяжении всей истории развития Земли? В своих ранних работах В.И. Вернадский отвечал на этот вопрос утвердительно. Он полагал, что при эволюции биосферы менялись формы проявления жизни, но объем живого вещества оставался неизменным. Однако постепенно его взгляды изменились, оформилось учение о качественно новом состоянии биосферы.

В. И. Вернадский постепенно пришел к выводу, что количество живого вещества не может оставаться постоянным, потому что человек своей деятельностью вмешивается в стационарное существование биосферы и изменяет ее облик в глобальном масштабе. Область жизни все более радикально перестраивается под влиянием глобальной технической деятельности человека. Биосфера всегда изменялась и эволюционировала. Человеческая деятельность придала этому процессу такое ускорение, что биосфера неминуемо должна измениться и перейти в новое состояние, которое В. И. Вернадский назвал сферой человеческого разума.

Для XX в. характерно прежде всего вторжение техники во все сферы человеческого общества и в биосферу. Этот процесс вполне соразмерен с таким планетным явлением, как появление зеленых растений в конце девонского периода. Точно так же как человек не акцентирует внимание на том, что для акта дыхания необходим кислород, так он не задумывается и о том, что научно-технический процесс породил особую сферу, в которой главенствует техника. Техника для нас настолько привычна, что мы ее просто не замечаем. Если мы не можем привычно воспользоваться телефоном или проехать в троллейбусе, метро или автобусе, это вызывает не более чем раздражение. Ну а уж если произойдет авария на электростанции и окружающий мир погрузится в кромешную тьму, для человека это будет просто катастрофой. В июле 1977 г. в громадном Нью-Йорке вышла из строя электростанция. На весь день погас свет и городская деятельность замерла. Убытки составили 5 млрд долларов. Этот пример говорит о необычайной уязвимости такого вида экономического развития, для которого характерны высокий уровень концентрации и технической специализации. При выходе из строя одного компонента таких концентрированных систем парализованной оказывается вся система.

Однако мы редко задаемся вопросом, что означает техника как геологическое явление в масштабах нашей планеты. Техника все больше демонстрирует и проявляет свою автономность, так что аналогично понятию «живое вещество» в последнее время можно говорить о так называемом «техновеществе» – совокупности технических систем Земли. Приблизительные подсчеты специалистов показали, что масса всех технических систем (сюда включаются не только машины, механизмы, производства, но и масса созданного ими вещества) в десятки раз превышает массу живого вещества планеты, а продукция техногенеза примерно соответствует (или в несколько раз превышает ее) биопroduкции естественных экосистем.

Создавая орудия труда, человек создавал и качественно иную сферу своего бытия – техносферу. Некоторые ученые считают техносферу синонимом ноосферы, другие признают за техносферой возможность самостоятельного существования как переходного состояния от биосферы к ноосфере. Термин «техносфера» подчеркивает определяющую роль техники в деятельности человека на планете Земля и в космосе. Техносфера – своего рода переходный этап между естественным развитием биосферы и прогнозируемым переходом ее в ноосферу. Если ноосфера – это будущее гармоничное единство человека и природы при главенствующем положении в этой системе человеческого разума, то техносфера – это то окружение, в котором мы сейчас живем.

Характерная особенность техносферы состоит в том, что человеческая популяция вышла из-под контроля природных энергетических циклов. Развитие техносферы основано прежде всего на потреблении исчерпаемых источников энергии, представленных на планете ископаемыми видами топлива.

Все, что производит человек, будь то орудия труда, произведения искусства или результаты фермерской деятельности, выпадает из области действия естественных биоценозов. Оно либо сохраняется, либо с течением времени разрушается и тогда возвращается в природный круговорот. Оброненный в поле нож или брошенный плуг, перержавев, превращается в оксид железа. Разрушенный дом или дворец становится соответственно холмиком или заметным возвышением на поверхности Земли. Одицавшая собака или кошка становится опасным диким зверем. В конечном итоге природа возвращает себе то, что отнято у нее человеком, хотя необратимые процессы и ширятся.

Человек воздействует на природные биоценозы посредством орудий труда, созданных еще во времена его исторического детства. С помощью техники, накапливающейся тысячелетиями, человек изменяет до неузнаваемости свое природное окружение.

На развитие биосферы, ее изменение и трансформацию оказывают воздействие, во-первых, природные факторы и процессы и, во-вторых, техногенные социально-экономические факторы. Последняя группа факторов – техногенная деятельность человека – в настоящее время особенно разрушительно воздействует на биосферу. С техногенной деятельностью человека связано:

- поступление в биосферу тысяч и миллионов тонн технофильного вещества в виде отходов промышленного производства, транспорта, сжигаемого топлива, бытовых отходов и т. п.;

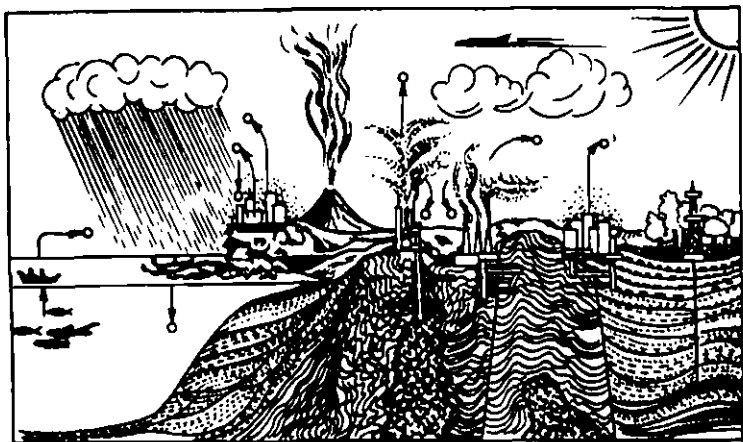
- накопление в биосфере в газообразной, жидкой и твердой формах химикатов, пестицидов, тяжелых металлов, радиоактивных веществ;
- геохимические изменения и новообразования в почвах, водах, горных породах, воздухе, вторичное засоление, вторичное подкисление;
- дестабилизация и разрушение сложившихся компонентов и биогенных функций биосферы.

Основными источниками и компонентами техногенного загрязнения являются:

- органические вещества стоков промышленного и сельскохозяйственного производства и быта;
- твердые отходы добывающих, перерабатывающих и потребляющих отраслей;
- минеральные удобрения, ядохимикаты;
- радиоактивные вещества атомных отходов и аварий на электростанциях и АЭС;
- горячие стоки электростанций и промышленных предприятий;
- неорганические продукты: соли, кислоты, щелочи;
- нефть и нефтепродукты;
- детергенты (моющие вещества; высокие их концентрации убивают клетки, снижают жизнеспособность биоценозов);
- шум, вибрация, электрические и магнитные поля;
- разные химические продукты, содержащие токсические элементы и соединения.

Под влиянием хозяйственной деятельности человека в современной биосфере происходят крупные биологические и биогеохимические изменения в естественных ландшафтах и экосистемах, почвенном покрове, растительном и животном мире, в структуре и эффективности пищевых цепей, в эффективности фотосинтеза и др. Главными факторами и причинами этих изменений являются расширение урбанизированных территорий и сельскохозяйственных систем за счет сокращения естественных ландшафтов, увеличение энергетического влияния на природную среду, использование флоры и фауны суши и водоемов, а также питательных веществ, загрязненных токсинами (рис. 67).

Казалось бы, совершенствование технических приемов, технологических методов и самой техники позволит найти выход из сложившейся ситуации. Но, оказывается, это не всегда возможно.



*Рис. 67.* Для биосферы характерны замкнутые круговороты веществ. В результате геологической деятельности человека происходит накопление в области жизни продуктов сжигания горючих полезных ископаемых, переработки горных пород, отходов промышленности, сельского хозяйства. Загрязнение поверхности Мирового океана нарушает водный и газовый обмен между океаном и атмосферой

В качестве примера можно привести пропагандирование и внедрение так называемого безотходного производства. Без сомнения, этот метод может принести и уже приносит свои плоды. Однако считать его генеральным направлением нельзя. Выясняется, что снижать отходы ниже оптимальных пределов неэкономично и неэкологично.

Рассмотрим, к примеру, электромобиль – экологически чистое транспортное средство. Может ли он повсеместно заменить обычный современный автомобиль? Теоретически – да, практически – нет. Почему? Очень просто. На аккумуляторы электромобиля потребуется такое количество электроэнергии и цветных металлов, что никакая экономика не выдержит. Аналогично обстоит дело и с очисткой выбросов заводских труб от сернистого газа. Эффективна ли такая очистка? Да, но до известного предела, после которого затраты возрастают настолько, что делают абсурдной дальнейшую очистку. На одном предприятии водохозяйственники подсчитали, что до 90 % очистка стоков шла сравнительно легко. Потом же каждый последующий процент давал рост затрат по экспоненте – резко взмывающей вверх кривой. Стопроцентная очистка оказалась невозможной. Последний, сотый процент стоил уже баснословных затрат.

Так что же делать? Выход один — внедрять ресурсосберегающую, малоотходную технологию (с оптимальной степенью отходности), биотехнологию.

Перестройка человеком природных систем, как это не парадоксально, постепенно выходит из-под его же контроля. На месте естественных ландшафтов создаются суррогаты ландшафтов техногенных. Вместо того чтобы в свое время сохранить сотни и тысячи видов растений и животных, обеспечивающих устойчивость генофонда, человек выводит новые сорта растений и породы животных. Видоизменяется гидрографическая сеть: строятся дамбы, плотины, водохранилища, меняются русла рек. Происходит глобальное перераспределение огромных масс пород верхней части земной коры. Добыча полезных ископаемых превзошла все границы. Это приводит к истощению природных ресурсов и ставит человечество на грань ресурсного голода. Такое положение вещей заставляет создавать искусственные минералы, открывать химические элементы. Техносфера протянула свои «щупальца» и за пределы планеты. Космическое пространство бороздят сотни искусственных спутников, постоянно действующие орбитальные станции. Разрабатываются проекты экспедиций на далекие планеты. В настоящее время космос загрязнен настолько, что это можно сравнить с загрязнением океана.

Вероятно, несмотря на сопротивление технократов, необходимо признать существование ряда ограничений в развитии человеческого общества: сама планета ограничена в размерах, ограничена часть используемой человеком суши, ограничен объем рек и озер, ограничены возможности человеческого организма и т. д. Ученые подсчитали, что люди имеют право потреблять не более одной десятой доли живого вещества на планете, в противном случае наступят необратимые изменения.

Перед человечеством отчетливо маячила та грань, переступив которую можно свалиться в пропасть небытия. Остается надеяться на разум человека, его коллективный разум. Необходимо только помнить, что если биосфера как саморегулирующаяся система будет функционировать и в отсутствие человеческого разума, то человек, даже обладая высокоразвитым интеллектом, неминуемо погибнет без гармоничного единства с окружающей его природой. Для исправления создавшегося положения одной технической оснащенности недостаточно. Требуется решительная перестройка общественных систем.

Необходимо, отказавшись от потребительского отношения к природе, признать, что только осознание гармонии с природой, гармонии со всем живым, населяющим нашу планету, может спасти человека как биологический вид и как часть порожденного им техногенного общества.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОСФЕРЫ

Перестройка биосферы и грядущее становление ноосферы ставит перед человечеством нелегкие задачи. Прежде всего это рациональное управление биосферой для удовлетворения насущных потребностей человечества.

К сожалению, в наше время эволюционное развитие взаимоотношений природы и общества наводит некоторых ученых на мысль о постепенном превращении биосферы не в ноосферу — сферу разума, а в некротсферу — сферу безжизненности. О том, что такой ход эволюции вполне возможен, красноречиво свидетельствует целый комплекс проблем, без решения которых невозможно прогрессивное развитие человека и природы.

У экологических проблем современности есть отличительные признаки, которые придают им масштаб глобальности. Прежде всего это их общечеловеческая значимость. Независимо от социального устройства, уровня экономического и научно-технического развития проблемы эти отличаются универсальностью и актуальностью для всех государств. Для аборигенов, проживающих на островах атолла Моруроа, где испытывалось атомное оружие, так же как и для жителей других высокоразвитых в промышленном отношении стран, проблема радиоактивного загрязнения одинаково актуальна. В. И. Вернадский писал: «Человечество едино. Жизнь человечества при всей ее разнородности стала неделимой. Событие, происшедшее в захолустном уголке любой точки любого континента или океана, отражается в ряде других мест, повсюду на поверхности земли...». Именно поэтому снижение остроты проблем современного состояния биосферы возможно лишь при объединении совместных усилий многих государств независимо от их политического устройства, вероисповеданий, экономического потенциала. Охрана природы, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов — задача общечеловеческая, и участвовать в ее решении обязан каждый житель планеты Земля.

В скором времени человечество поймет, что выжить на нашей планете можно лишь при условии компромисса с природой, с природным окружением. Человек либо будет вынужден «потеснить» действующие элементы своей экономики, либо начать новое широкомасштабное наступление на те немногочисленные оставшиеся островки дикой природы, сохранение которых гарантирует нам будущее. Нетрудно догадаться, что произойдет, если человек изберет второй вариант.

Основные проблемы современной биосферы так или иначе связаны с техногенной деятельностью человека. Эволюция человека как биологического вида и человечества в целом привела к изменению естественного биогеохимического круговорота и перераспределению энергии на Земле. Можно с уверенностью сказать, что все глобальные проблемы современности прямо или косвенно замыкаются на использовании природных ресурсов Земли.

Все экологические процессы в биосфере взаимосвязаны и неразрывны. Нарушение одних процессов неминуемо влечет за собой сдвиги в системе сложившихся связей природных экосистем. Масштабы воздействия хозяйственной деятельности на природную среду стали гигантскими. Ежегодно из земных недр безвозвратно извлекается свыше 100 млрд т полезных (для человека, но не для планеты) ископаемых, выплавляется 800 млн т различных металлов, вносится в почвы свыше 500 млн т минеральных удобрений, около 3 млн тонн различных ядохимикатов, из которых треть смывается поверхностными стоками в водоемы или задерживается атмосферой.

Известно, что растения испытывают на себе влияние более 15 тыс. видов вредных грибов, более 10 тыс. видов насекомых, более 2 тыс. видов сорняков, не считая вирусов, бактерий и грызунов. Средства борьбы с ними (пестициды) в зависимости от объекта, на который они действуют, делятся на гербициды (уничтожают сорную растительность), инсектициды (действуют на насекомых), зооциды (уничтожают грызунов), фунгициды (действуют на возбудителей грибковых заболеваний), дефолианты (удаляют листья), дефлоранты (удаляют цветки), репелленты (отпугивают животных) и др. В настоящее время существует множество групп препаратов, уничтожающих вредные организмы и растения. В приведенной ниже таблице характеризуются основные группы таких препаратов.



**Таблица 7. Препараты, используемые в борьбе с вредными организмами и растениями**

Группа препаратов	Характеристика
1	2
Акарициды	Препараты для борьбы с растительноядными клещами
Альгициды	Препараты для борьбы с водорослями
Антиметаболиты	Аналоги компонентов промежуточного обмена веществ, которые нарушают нормальный процесс развития насекомых
Антиоксиданты	Препараты для обработки посадочного материала плодово-ягодных культур перед закладкой их на хранение или перед прививкой, чтобы лучше прижились
Антирезистенты	Добавка к инсектицидам, снижающая сопротивление и устойчивость к ним насекомых
Антифиданты	Химические соединения, обладающие двойным действием: предохраняют растения от поедания насекомыми и отпугивают последних от пищи
Арборициды	Химические препараты для уничтожения сорной древесно-кустарниковой растительности
Афициды	Препараты для борьбы с тлями
Бактерициды	Препараты для борьбы с возбудителями бактериальных болезней растений и сельскохозяйственных животных
Гербициды	Химические препараты для уничтожения сорной и ядовитой травянистой растительности, микроорганизмов
Гормональные препараты	Синтезированные химические аналоги (модели) гормонов насекомых. Нарушают важнейшие функции развития (метаморфоза) и обмена веществ у насекомых
Десиканты	Химические вещества, подсушивающие растения на корню перед уборкой
Дефлоранты	Препараты, обеспечивающие опадение избыточной завязи плодовых культур. Снижают нагрузку на плодовое дерево на первых этапах формирования урожая
Дефолианты	Препараты для предуборочного удаления листьев перед механизированной уборкой, а в плодоводстве – для удаления листьев у саженцев
Зооциды (родентициды)	Препараты для борьбы с вредными позвоночными
Имагоциды	Препараты для централизованного уничтожения взрослой фазы насекомых или клещей (имаго)
Инсектициды	Собирательный термин, объединяющий химические и микробиологические препараты для борьбы с вредными насекомыми

1	2
Ихтиоциды	Химические препараты для борьбы с сорными породами рыб
Ларвициды	Препараты, применяемые для уничтожения личинок насекомых и клещей
Лимациды	Препараты для уничтожения слизней
Моллюскоциды	Препараты для борьбы с моллюсками, в том числе с брюхоногими (улитками)
Протравители семян	Препараты для предпосевной обработки семян и посадочного материала (клубни), для защиты всходов от болезней и вредителей
Регуляторы	Препараты, ускоряющие рост и развитие растений
Репелленты	Химические аналоги запахов, отпугивающие вредителей от объекта питания
Скелциды	Высокоспециализированные инсектициды для уничтожения вредных жуков
Стерилианты	Средства, нарушающие способность организма к размножению
Суперфиданты (стимуляторы «обжорства»)	Химические вещества, в противовес антифидантам возбуждающие аппетит у вредных насекомых. Насекомые с большой жадностью поедают корм, обработанный суперфидантами, до тех пор, пока не наступает их гибель («летальное обжорство»)
Фумиганты	Газообразные или парообразные химические препараты для борьбы с вредными организмами в теплицах
Фунгистатики	Химические вещества, временно задерживающие рост мицелия грибов
Фунгициды	Препараты, уничтожающие и подавляющие рост и развитие спор или мицелия грибов – возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур
Экдизоны	Сложные химические синтетические препараты, аналоги (модели) гормонов линьки насекомых. Их применение приводит к тому, что личинные шкурки не сбрасываются, процесс питания нарушается и насекомые гибнут, несмотря на обилие корма
Ювеноиды	Синтетические аналоги ювенильного гормона, пагубно действующие на развитие (метаморфоз) и обмен веществ у насекомых

В настоящее время только в качестве гербицидов ежегодно описывается и патентуется до 5 тыс. соединений. Мировое производство пестицидов составляет более 1,2 млн т, а площадь их применения – 4 млрд га, что в среднем составляет до 30 мг/м<sup>2</sup> в год.

Грамотное применение ядохимикатов обеспечивает хороший урожай. Но не имеет ли это последствий для окружающей среды и здоровья людей? Можно ли обойтись без химических препаратов, чтобы накормить планету? Скорее всего пока это невозможно.

По поводу применения этих ядовитых веществ в настоящее время ведутся ожесточенные дискуссии. Одна точка зрения такова, что без пестицидов нам не обойтись. Многие понимают, что лучше урожай с химией, чем вообще никакого. Значит, необходимо разумно использовать те грозные яды, которые имеются на вооружении у человека. Это тем более актуально, что пестициды отрицательно воздействуют и на животный мир экосистем. Неоднократно отмечалось прямое отравление насекомых-опылителей пестицидами, а не их остаточными количествами. Однако случаи смертельных отравлений чаще всего происходят не там, где пестицидов применяют много, а там, где их используют безграмотно. Сторонники применения пестицидов оперируют цифрами повышения урожая, однако экономисты подсчитали, что большую часть стоимости этого добавочного урожая съедает стоимость самого пестицида.

К тому же ядохимикаты наносят огромный косвенный ущерб тем, что изменяют естественное соотношение видов в экосистеме. К примеру, после усиленной обработки плантаций хлопчатника к привычным вредителям — долгоносику и коробочному червю — прибавились табачная тля, хлопковая совка и практически неуязвимый паутинный клещ. Уже сейчас более 500 видов вредных насекомых устойчивы к какому-либо химикату, а около десятка — ко всем без исключения. Правительство Индонезии признало, что использование пестицидов при выращивании риса принесло больше вреда, чем пользы, поскольку в большей степени уничтожены были не вредители, а их естественные враги.

Еще в середине 70-х годов в СССР около 40 % от общего числа ежегодно погибающих зайцев, кабанов, лосей, более 77 % уток, гусей и боровой дичи, свыше 30 % пресноводной рыбы гибли от отравления пестицидами. Таким образом, вывод однозначен: применение пестицидов носит разрушительный для естественных экосистем характер. Количество потребляемых ядохимикатов можно сократить без ущерба для урожая, поскольку 60–90 % химикалий, которыми опрыскивают будущие урожаи, предназначены лишь для того, чтобы улучшать внешний вид продукции, а не ее качество.

Воздействие пестицидов проявляется на разных уровнях организации живого — экологическом, организменном, клеточном и

молекулярном. Наиболее заметно влияние пестицидов на уровне целого организма. Вне зависимости от места применения того или иного препарата конечным пунктом накопления пестицидов и их продуктов считаются моря и океаны. Постепенное вымывание пестицидов из почвы приводит к их попаданию в речные бассейны.

Усиление техногенного воздействия на природную среду породило ряд экологических проблем, требующих безотлагательного решения. В первую очередь это состояние атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов.

Состояние атмосферы определяет тепловой режим на нашей планете и непосредственным образом влияет на защитные функции озонового слоя. Результатом изменения теплового режима могут служить значительные колебания климатических условий. В свою очередь изменения климата на обширных территориях приведут к тяжелым экономическим последствиям, так как потребуют переориентации многих отраслей мировой экономики.

В настоящее время средняя концентрация углекислого газа в атмосфере составляет 0,034 %. Исследованиями медиков установлено, что для здоровья человека повышение концентрации  $\text{CO}_2$  до 1 % практически безвредно. Так что человечество еще имеет в запасе какое-то время для решения этой проблемы.

Напрямую с проблемой охраны атмосферного воздуха связано загрязнение окружающего пространства тяжелыми металлами. К тяжелым относят металлы с большой атомной массой (свинец, цинк, ртуть, медь, никель, железо, кадмий и др.).

В современной промышленности тяжелые металлы играют особую роль. Это связано с особенностями строения их атомов, со способностью легко вступать в реакции с другими соединениями. Именно этими свойствами объясняется и значение тяжелых металлов в функционировании биологических систем. В окрестностях металлургических предприятий загрязнение природной среды тяжелыми металлами может достигать значительных величин, что вызывает нарушение происходящих в природе процессов. Из-за свойства легко принимать и отдавать электроны, а также образовывать стабильные комплексы с протеинами (белки, состоящие из остатков аминокислот, например, ферменты) тяжелые металлы играют важную роль в энергетическом балансе клетки и деятельности ферментов. Однако исключительная подвижность внешних электронов атомов тяжелых металлов может явиться причиной нарушения распределения электронов в клетке

и развития токсикозов. Таков схематичный механизм действия тяжелых металлов на живую клетку.

Актуальность проблемы истощения водных ресурсов связана как с огромным водопотреблением, так и с загрязнением поверхностных и подземных вод. В итоге в ряде районов мира возникает острейший дефицит воды.

И, наконец, землян уже сейчас тревожит проблема земельных ресурсов. Земельный фонд уменьшается прежде всего из-за строительства, горнопромышленных разработок, почвенной эрозии, засоления, опустынивания.

В последнее время особую остроту приобрела проблема катастрофически быстрого сокращения площадей лесных массивов, особенно тропических. По данным ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), площадь под лесами на всем земном шаре составляет около 32 %, из которых 12 % являются труднодоступными. За последние три десятилетия площадь лесов уменьшилась на 1 млрд га, что составляет 20 % их совокупной площади. Это самые большие потери лесных площадей за время существования биосферы.

Сведение горных лесов также чревато экологическими последствиями. Со склонов гор, лишенных зелени, дожди смывают почву, делая изменения необратимыми. Новые лесопосадки тут уже не приживутся. На равнинах происходит эрозия почв, земля родит все меньше, местное население лишается хлеба насущного — риса и злаков. Плодородные слои земной коры содержат 2 трлн т углерода, что в три раза превышает его количество в атмосфере. После вырубки деревьев углерод окисляется и улетучивается в атмосферу.

Неумеренный расход древесины приводит к возрастающему давлению на лесные экосистемы. Японцы за год выбрасывают столько одноразовых палочек для еды, что вместе взятые они смогли бы составить 10 млн досок длиной 2,5 м, шириной 10 и толщиной 5 см. Французский исследователь и журналист Люсьен Матье приводит такие цифры. Для печатания воскресных номеров газеты «Нью-Йорк таймс» древесины требуется в 4 раза больше, чем ее содержит весь Булонский лес в Париже. На один номер газеты расходуется 77 га леса. Совсем недавно Соединенные Штаты расходовали в год более 65 млн т бумаги, а это 1 млрд деревьев! Приплюсуйте сюда потребности остальных стран, и вы ужаснетесь. А ведь необходимо учесть, что большая часть древесины расходуется на рекламу. Таким образом, печатая рекламу, мы уничтожаем свое будущее.

Еще одна опасность для биосферы – так называемая **дезертификация** – опустынивание. Исследования в Судане показали, что южная граница Сахары с 1958 по 1975 год продвинулась к югу почти на 200 км. Территории с наиболее высокой степенью опустынивания составляют в Азии около 19 %, в Африке – 23, в Австралии – 45 и в Южной Америке – около 10 % от общей площади.

Американский натуралист Арнольд Ньюмен предлагает следующую теоретическую модель развития нашей планеты. «История эволюции насчитывает 3,5 млрд лет; приняв каждые десять миллионов лет за один день, мы получим условный календарный год. Жизнь зародилась в «январе». Затем появляются простейшие бактерии и необъяснимым образом почти мгновенно распространяются по всему свету. Первые водоросли возникают (судя по ископаемым остаткам) в начале «мая»; древнейшие морские черви формируются не раньше «ноября»; в середине «декабря» начинается переселение из плацентарных морей на сушу, а человек – запомните это! – выходит на сцену за 15 минут до конца года. За короткое время пребывания на Земле мы успели натворить многое, о чем приходится сожалеть».

## **ПРОБЛЕМА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПЛАНЕТЫ**

Одна из самых острых проблем современности – проблема народонаселения. За то время, которое вы потратите на прочтение этой фразы, население земного шара увеличится на 18 человек, за час – на 11 тыс., за год – на 95 млн. Сейчас на нашей планете в минуту рождается примерно 180 человек, в секунду – около трех, умирает – один. Каждую секунду численность населения увеличивается на два человека. За год прирост составляет более 60 млн (рис. 68, 69).

В наше время удвоение числа людей на планете происходит за 35 лет, а производство пищи растет на 2,3 % в год и удваивается за 30 лет. В 1987 г. человечество перешагнуло рубеж пятого миллиарда, а 12 октября 1999 г. на планете родился 6-миллиардный житель.

Рост населения Земли в середине XX в. приобрел стремительные темпы и получил название «демографического взрыва». Анализ современной ситуации распределения населения на земном шаре позволил выявить несколько закономерностей.

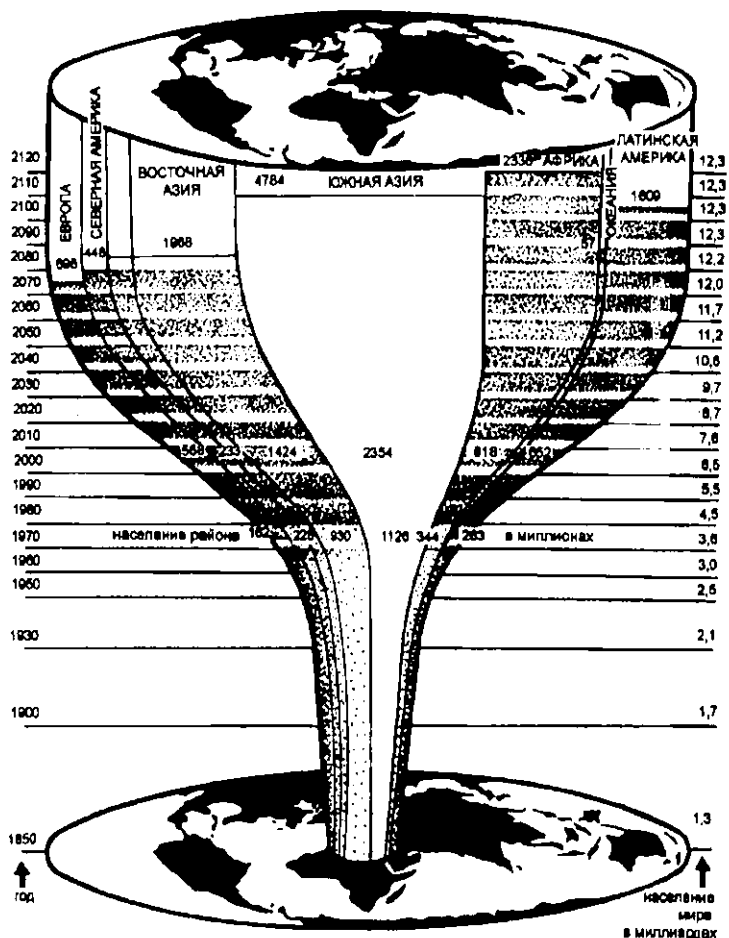


Рис. 68. Демографические прогнозы роста населения планеты

1. Прирост населения распределен чрезвычайно неравномерно. Он максимален в развивающихся странах и минимален в развитых странах Европы и Америки.

2. Быстрый прирост населения нарушает его возрастное соотношение: увеличивается процент нетрудоспособного населения — детей, подростков и пенсионеров. Доля детей до 15 лет в большинстве развивающихся стран увеличивается до 50 %, а доля пожилых людей старше 65 лет возрастает с 10 до 15 %.

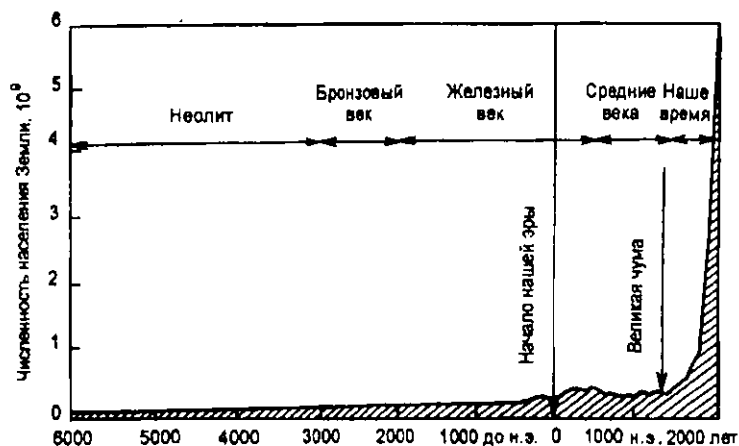


Рис. 69. Рост численности населения земного шара (от палеолита до нашего времени). Понадобился 1 млн лет, чтобы число жителей нашей планеты достигло 3 млрд (в 1960 г.), и 40 лет, чтобы удвоить это значение

Пока мировой рекорд по числу пожилых людей принадлежит Италии — 65-летних здесь больше (16 % населения), чем 15-летних (15 % населения). Для сравнения в Ливии, например, 65-летние составляют всего лишь 3 % населения, тогда как 15-летние — 48 %. В Италии, как и в других западных странах, взросление связано с двумя победами человечества: умением избежать нежелательного рождения и несвоевременной смерти. Конечно, и за эти победы пришлось платить: лишь от 4 до 5 млн итальянцев — молодежь, тогда как пожилые составляют 15–16 млн. Сегодня мальчик, родившийся в Италии или Швеции, вполне может дожить до 76 лет, а девочка — до 81 года. А ведь тысячелетия мужчина жил в среднем 25–30 лет!

3. Возрастает плотность населения. Ускоренный процесс урбанизации концентрирует население в крупных городах. В 1925 г. в городах проживало немногим более 1/5 населения мира, сейчас — около половины. Прогнозируется, что к 2025 г. 2/3 жителей планеты будут горожанами. Продолжает расти число городов с населением свыше 5 млн. В 1900 г. этот рубеж перешагнул лишь один город — Лондон. К концу века прогнозируется существование 60 таких городов. Среди них заметно выделяется такой супер-мегаполис, как Мехико. Сейчас там проживает более 20 млн человек, а в начале следующего века его население может возрасти до 40 млн!



Индустриальные общества эпохи научно-технической революции, нуждаясь в новых технологиях, требующих больших объемов энергии и много рабочей силы, сконцентрировали их в городах. Сверхконцентрация технологий привела к деградации экологических систем.

Вероятно, первых людей на Земле было всего несколько десятков тысяч. Они блуждали в поисках пищи и были зависимы от погодных и климатических условий. Около 10 тыс. лет тому назад человечество могло исчисляться цифрой в 5–10 млн. Существует своеобразная биологическая закономерность, заключающаяся в том, что любые виды бактерий, растений, животных, попав в благоприятные условия, увеличивают свою численность в такой зависимости от времени, которая носит название «экспоненциальной». Видимо, и человек унаследовал эту особенность. Анализ роста народонаселения показывает, что всякий раз, когда условия жизни *Homo sapiens* улучшались, численность людей увеличивалась.

Ученые отмечают три глобальных всплеска численности населения планеты (Дольник, 1990). Первый связан с освоением охоты на крупных животных и расселением охотников в конце плейстоцена. Второй произошел около 10 тыс. лет назад, после появления земледелия, когда численность людей увеличилась в 20–30 раз. И всего несколько столетий назад, с наступлением промышленной революции начался третий всплеск численности, продолжающийся до нашего времени. К 1650 г. – условному началу промышленной революции – на Земле проживало 500 млн человек; к XIX в. – 1 млрд, в начале XX в. – 2 млрд. В докладе, составленном фондом народонаселения ООН за 1995 г., говорится, что в середине 1995 г. на земном шаре проживало 5,75 млрд человек.

За последние пять лет (1991–1996) родилось на 29 млн землян меньше, чем предполагали прогнозисты. Эксперты ООН оценивают средний уровень прироста населения в мире существенно ниже ожидавшегося: 1,48 % в год вместо 1,57 %.

«Стабилизация произошла быстрее, чем мы думали», – заметил директор департамента ООН по проблемам народонаселения Джозеф Чами. На его взгляд, новой тенденцией мы обязаны эффективным программам планирования семьи во многих странах, более высокому экономическому и социальному статусу женщин. Падение роста населения Джозеф Чами объясняет также повышением уровня смертности в некоторых странах. В Африке рождаемость снизили войны и СПИД. Падает она в Восточной

Европе и на территории бывшего Советского Союза, но уже по экономическим причинам.

Наиболее оптимистично настроенные демографы полагают, что в ближайшем будущем рождаемость в мире стабилизируется на уровне, обеспечивающем лишь обновление поколений без роста численности (2,1 ребенка на женщину). Уже сейчас уровень рождаемости в развивающихся странах снизился с 6,1 ребенка на каждую женщину в 50-х годах до 3,7.

Приемлемой считается численность населения Земли 8 млрд человек к 2050 г. вместо ожидаемых 10 млрд. Этой цели можно достичь увеличением ежегодных расходов на осуществление программ планирования семьи и выбором социальной политики. Важнейшим условием является повышение уровня образования женщин. Еще один эффективный фактор уменьшения размера семьи – гарантированное пенсионное обеспечение в старости.

На современную возрастную структуру населения Земли большое влияние оказывают новейшие достижения науки и медицины. Побеждены многие болезни, уносившие в прошлом тысячи и миллионы жизней: малярия, оспа, чума, холера, полиомиелит и др. Повсюду снизилась детская смертность. Достижения в медицине и фармацевтике, улучшение гигиенических и социальных условий постепенно способствовали ликвидации инфекций, сопровождавших человека с младенчества (в середине XVIII в. на первом году жизни умирали 250 из 300 детей, сейчас – только 5).

Наблюдающийся в наше время рост числа сердечно-сосудистых и раковых заболеваний (от инфаркта миокарда умирает до полумиллиона человек в год) специалисты связывают с тем, что большинство людей современности доживает до возраста, когда эти заболевания преимущественно проявляются.

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА**

По мере ускорения темпов техногенеза в мире менялось представление о некоторых заболеваниях. Раньше считалось, что инфаркт миокарда – это болезнь пожилых интеллигентных людей, малоподвижных, легкоранимых. И вот данные врачей, опубликованные в конце 80-х годов, показали, что болезнь «помолодела». Она начала поражать людей, труд которых связан с физическими напряжениями, например шоферов. Экологи установили, что значительная доля вины в этом лежит на бензине. Свинец, содержащийся в нем, поражает сосудистую систему.

Американские врачи, делавшие вскрытие своих солдат, погибших во время вьетнамской войны и проходивших службу в десантных войсках, установили у многих из них начальные признаки атеросклероза. А ведь известно, что в армию США, а особенно в десант, попадали высокотренированные, физически здоровые люди.

Таким образом, развитие общества и всеобъемлющее техногенное воздействие привело к следующей парадигме: медицина без экологии становится бессильной. Медики пришли к выводу, что дальнейшее увеличение капиталовложений в медицину не приведет к снижению заболеваемости. Поэтому ни увеличение койко-мест, ни применение новых лекарств, ни строительство больниц, ни тотальная диспансеризация населения не дадут положительного эффекта. Только здоровая, полноценная среда обитания может обеспечить человеку здоровый образ жизни.

В 70–80-е годы в ФРГ на шумела история с препаратом талидомидом. Это средство успокаивало нервную систему. Однако у применяющих препарат женщин впоследствии рождались дети-уроды. Эксперты, вызванные в суд, показали, что все компоненты этого препарата безвредны и каждый из них вполне сочетается с естественными биологическими функциями. Однако никто не мог предвидеть, что в процессе синтеза в производственных условиях наряду с левовращающимися сахарами вырабатывались правовращающиеся, что и явилось причиной патологии. Неправомерное вторжение в сокровенные тайны человеческого организма привело к трагедии.

Загрязнение окружающей среды напрямую влияет на здоровье людей. Медикам и экологам известно, что высокие концентрации сернистого ангидрида, оксидов азота и взвешенных частиц оказывают негативное воздействие на человека. Считается, что минимальная потенциально опасная для здоровья человека концентрация сернистого ангидрида составляет  $250 \text{ мкг/м}^3$  в среднем за сутки или  $100 \text{ мкг/м}^3$  в среднем за долгосрочный период. Для диоксида азота эти цифры составляют свыше  $190\text{--}320 \text{ мкг/м}^3$  в течение часа не чаще одного раза в месяц.

Подкисление воды способно привести к экстрагированию различных металлов из водопроводных труб, сделанных из меди и гальванизированной стали.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 80 % всех болезней в мире связано с неудовлетворительным качеством воды. Болезни возникают из-за употребления загрязненной воды

при питье, а также при несоблюдении санитарно-гигиенических требований из-за отсутствия воды.

Заболевания, вызванные нечистой водой, можно объединить в пять групп.

Первая группа объединяет заболевания, возникающие при использовании зараженной воды для мытья посуды, продуктов, для умывания. Это тиф, холера, дизентерия, гастроэнтерит (диарея вирусная) и инфекционный гепатит. Такая опасная болезнь, как гастроэнтерит, ежегодно уносит жизни 6 млн детей и 18 млн взрослых в развивающихся странах. Смерть наступает в результате обезвоживания организма. Антисанитарные условия создают возможность легкого переноса болезни от ребенка к ребенку.

Ко второй группе относятся заболевания кожи и слизистых оболочек, возникающие главным образом при умывании. Это трахома, чесотка, конъюнктивит, сепсис наружных покровов, язвы. Одна из болезней этой группы – трахома приводит к деформации края века, воспалению и помутнению роговицы. Следствием этого является слепота. Передается трахома мухами и от человека к человеку. В настоящее время этой болезнью в мире страдает около полумиллиона человек.

Третья группа охватывает заболевания, которые вызываются моллюсками, живущими в воде. Они являются переносчиками таких инфекций, как шистоматоз и дракункулез. Шистоматоз вызывает лихорадку, боли в печени, сыпь на коже, появление крови в фекалиях. Возбудители болезни – паразитирующие черви, сложный цикл которых проходит частично в водоеме, частично в некоторых видах улиток, частично в организме человека. Заболеть ею можно, искупавшись в воде зараженного пруда, озера или канала. Шистоматозом страдают примерно 200 млн человек в Африке, на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии и некоторых районах Латинской Америки.

Четвертая группа – это заболевания, вызываемые живущими или размножающимися в воде насекомыми. Они являются переносчиками малярии, желтой лихорадки, сонной болезни, онхоцеркоза. Онхоцеркоз, или «речная слепота», – болезнь глаз, вызываемая укусом мелкой черной мошки, обитающей на быстрых реках. Личинка проникает в организм человека (в глаза) и, повреждая ткани, вызывает слепоту. Этой болезнью страдают в мире примерно 30 млн человек.

Пятая группа – заболевания, возникающие из-за несовершенной канализации. Наиболее распространенное из них – нематодоз.

## **МАСШТАБЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ. ПОНЯТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

В начале декабря 1930 г. в долине реки Маас в Бельгии выбросы предприятий добывающей промышленности привели к гибели 60 человек. Всего пострадало 600 человек. Это была первая техногенная авария такого масштаба.

Хроника последующих происшествий и вовсе угрожающа. В октябре 1948 г. в американском городе Донора, штат Пенсильвания, устойчивый антициклон с полным безветрием привел к тому, что заводские выбросы сконцентрировались в приземном слое воздуха и покрыли пеленой весь город. Почти половина жителей города, а это 1200 человек, получила острое отравление. Двадцать человек погибло.

Мексика, город Поза-Рика, 1951 г. Сероводород стал виновником смерти 22 служащих завода нефтеперерабатывающего предприятия.

В 1952 г. одна из самых тяжелых катастроф обрушивается на пуританскую Англию. Атмосферные выбросы унесли жизни более 4 000 человек. Эта катастрофа близка к эпидемии холеры 1866 г., когда умерло около 5 000 человек. Только на этот раз в роли холерной бациллы выступили промышленные дымы и сернистый газ.

Все эти случаи отравления людей связаны с явлением, получившим название «смог» (от англ. *smoke* – дым, копоть, *fog* – туман). Такое соединение пылевых частиц от выбросов промышленных предприятий с каплями тумана приводит к массовой гибели людей. Интенсивный смог вызывает удушье, приступы бронхиальной астмы, различные аллергические реакции, раздражение глаз.

Итак, начиная с 50-х годов нашего столетия все человечество начало ощущать первые симптомы воздействия промышленных выбросов, которые на первый взгляд не грозили серьезными осложнениями. Предполагалось, что это локальные явления, не угрожающие здоровью популяции человека. Однако напряжение взаимоотношений между человечеством и природой, возникшее в природных экосистемах, не только не ослабевало, но и постоянно усиливалось. Описанию таких опасных противостояний человека и природы можно было бы посвятить не один десяток многостраничных томов. Апофеозом взаимоотношений человека

и природы, негативного воздействия на нее стала печально известная Чернобыльская катастрофа 1986 г.

Утилитарный подход к окружающей среде без учета потенциальных нужд человечества в будущем поставил человека на грань экологического кризиса, грозящего общемировой экологической катастрофой.

Интересно привести рассуждения американского эколога Линдсея Гранта – бывшего помощника государственного секретаря США по вопросам окружающей среды и населения, а позднее консультанта Экологического фонда США. Грант предлагает рассмотреть три математических примера.

1. Если мы предположим, что вся масса Земли состоит из нефти, то даже в этом случае нефть будет исчерпана за 342 года при условии стабилизации скорости ее потребления на уровне до 1973 г.

2. Предположим, что человечество располагает чем-либо, чего хватит на миллион лет. Если мы станем увеличивать размеры потребления этого «чего-либо» всего на 2 % в год, то запаса этого гипотетического вещества хватит всего лишь на 501 год.

3. Если провести расчеты, через сколько лет при существующей тенденции прироста населения на один свободный ото льда квадратный метр земли будет приходиться по одному человеку, то ответ будет следующим: через 600 лет.

Следовательно, если человечество не снизит темпы использования ресурсов и не изменит политику народонаселения, то реальная экологическая (мировая, глобальная, всеобщая и иная) катастрофа окажется не такой уж и далекой.

Таким образом, во второй половине XX в. человечество вынуждено было ввести в обиход новое понятие современной экологии – «экологический кризис». Под экологическим кризисом в настоящее время понимают критическое состояние окружающей среды, вызванное деятельностью человечества и характеризующееся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе ресурсно-экологическим возможностям биосферы. Сейчас уже очевидно для всех, что экологический кризис – понятие общеглобальное и общечеловеческое, касающееся каждого из населяющих Землю людей.

Общая экономическая нагрузка на экологические системы зависит от трех основных факторов: численности населения, среднего уровня потребления и широкого применения различных технологий. Уменьшить степень ущерба, наносимого окружающей среде обществом потребителей, можно, изменив сельскохо-

зяйственные модели, транспортные системы, методы городского планирования, интенсивность потребления энергоресурсов, пересмотрев существующие промышленные технологии и т. п. Однако при изменении технологий может быть снижен и уровень материальных запросов. И это постепенно происходит из-за удорожания жизни, что напрямую связано с экологическими проблемами. Так, огромные «монстры» из мира автомобилей, оснащенные моторами в несколько сот лошадиных сил, были вынуждены уступить дорогу малолитражным экономичным машинам с малым расходом горючего и удобными для маневрирования формами.

Все мелкие кризисы, порожденные деятельностью человека (не только техногенной) и его отношением к окружающей природе, в конце концов привели к всеобъемлющему, глобальному кризису биосферы. При продолжающихся темпах воздействия на окружающую среду в ближайшем будущем можно будет говорить не столько о дигрессии отдельных элементов биосферы, сколько о необратимом процессе – изменении геологически сложившейся ее организованности. Возникнет (или уже возникла) опасность распада очень хрупкой системы жизнеобеспеченности на планете.

Однако, несмотря на кажущуюся первопричину неблагоприятных последствий хозяйственной деятельности человека, многие ученые подчеркивают, что охрану природной среды нужно начинать не с борьбы с антропогенными факторами, а с порождающими их причинами, в первую очередь с социально-экономическими. Влияние ухудшения состояния окружающей среды на жизнь и здоровье людей наблюдается в каждом обществе, а причины и следствия могут быть различными.

Еще совсем недавно казалось, что основная цель человечества – сделать людей богатыми и сытыми. Однако теперь этого уже мало. Вспомним сказку о золотой антилопе, где жадный правитель был заживо погребен под огромной горой золотых монет. Он стал богатым? Да! Но он не смог выжить, имея все это богатство. Аналогично в современном человеческом обществе богатства и сытости уже недостаточно для выживания. Нужна также благоприятная среда жизни.

В настоящее время ни одна страна мира не может автономно решить весь спектр экологических проблем, которые сопутствуют человеку в его повседневной жизни. Однако выход из экологического кризиса возможен. Нужно только объединить усилия всех стран для осуществления международного сотрудничества в этом вопросе.

# РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

В общем смысле под ресурсами понимают любые источники и предпосылки получения необходимых людям материальных благ. Существует множество различных классификаций ресурсов. Экологов в первую очередь интересуют ресурсы природные, то есть вся совокупность естественных продуктов природы, используемых человеком для удовлетворения материальных и культурных потребностей. На рисунке 70 представлена примерная классификация природных ресурсов.

Необходимо отметить, что использование термина «неисчерпаемые ресурсы» не вполне корректно. Данную группу ресурсов можно назвать так только условно. Неисчерпаемой в физическом мире может быть только материя, переходящая из одних форм в другие. Некоторые авторы считают, что «выделение группы неисчерпаемых природных ресурсов – удивительно стойкое заблуждение» (Реймерс, 1994, с. 151), и придерживаются закона ограниченности (исчерпаемости) природных ресурсов на Земле. Таким образом, группу неисчерпаемых ресурсов, приведенных на схеме, мы будем считать условно неисчерпаемыми.

Конечно, на первый взгляд солнечная энергия, энергия морских приливов, текущая вода, атмосфера, гидросфера таят в себе неисчерпаемые возможности. Однако многие так называемые неисчерпаемые ресурсы оказываются в конце концов конечными из-за того, что среда их происхождения становится зачастую непригодной для сложившегося хозяйства и жизни человека (загрязнение, прямое отравление, например, атмосферы, гидросферы). Таким образом, говорить о каких-либо неисчерпаемых ресурсах довольно рискованно.

Исчерпаемые природные ресурсы делятся на исчерпаемые восстанавливаемые (возобновимые) и исчерпаемые невозстанавливаемые (невозобновимые).



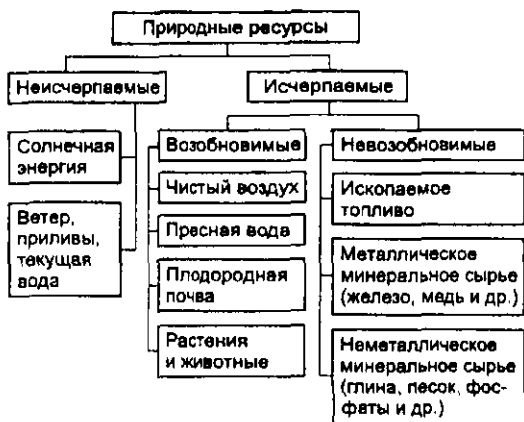


Рис. 70. Основные типы природных ресурсов (по В. А. Вронскому, 1996)

К первой группе прежде всего относятся биологические ресурсы – растительность и животный мир. Это лесные ресурсы, ресурсы сельскохозяйственных растений, диких и домашних животных. Сюда же можно отнести и некоторые минеральные ресурсы, например выпадающие в осадок соли в соленых водоемах. При определенных условиях возобновимые ресурсы могут в сравнительно короткий геологический период восстановиться качественно и количественно.

Ко второй группе относится большинство полезных ископаемых – нефть, уголь, газ и т. д. Исчерпаемость ресурсов связана, во-первых, с их широкомасштабным применением. Изъятие этих ресурсов из природной среды происходит очень интенсивно, запасы их неуклонно уменьшаются. Во-вторых, эти ресурсы восполняются значительно более медленными темпами, чем происходит их потребление (нефть, уголь, сланцы и др.).

Можно также выделить относительно возобновимые ресурсы. Это прежде всего почвы, частично вышедшие из сельскохозяйственного оборота в результате водной и ветровой эрозии либо радиоактивного загрязнения, старые лесные древостой, торф, используемый в качестве топлива. По истечении определенного промежутка времени (от сотен до нескольких тысяч лет) эти ресурсы можно будет снова использовать.

## АТМОСФЕРА

Наружная газовая оболочка, окутывающая Землю, называется атмосферой. Основные составляющие ее газы – азот и кислород. Из числа так называемых малых газов наиболее важны озон и углекислый газ. Современный газовый состав атмосферы находится в динамическом равновесии, которое поддерживается совместной деятельностью автотрофных и гетеротрофных организмов и различными глобальными геохимическими явлениями.

Обычно атмосферу делят на три части. Нижняя часть – *тропосфера*. Ее толщина составляет 7–10 км над полярными широтами и 16–18 км над экватором. Данный атмосферный слой содержит примерно 90 % массы воздуха, а также основное количество атмосферных примесей. Здесь содержится почти весь водяной пар, который образует облака. Следующий слой – *стратосфера*. Он распространен примерно до высоты 60 км. В этом слое находится особая прослойка с повышенной концентрацией озона – озоновый слой. И выше стратосферы располагается *ионосфера*, где воздух находится в ионизированном состоянии. Он имеет протяженность в сотни километров.

В некоторых справочных изданиях можно встретить деление атмосферы на пять слоев. Первый слой – до высоты 20–25 км состоит из смеси молекулярных азота и кислорода, причем процентное содержание последнего убывает с высотой. Второй слой (25–30 км) – озоновый, содержащий трехатомный кислород. Затем до высоты 85 км атмосфера состоит из молекулярных азота и кислорода с примесью их ионизированных молекул. Следующий слой – до высоты 200–800 км – это почти полностью ионизированные атомы и молекулы азота и кислорода. И последний слой – от 800 до 2000–3000 км составляют ионизированные атомы водорода и гелия.

Слой воздуха высотой 50–100 м называют *приземным*. Здесь наиболее резко изменяются метеорологические факторы. В последнее время к наиболее актуальным экологическим проблемам относят загрязнение атмосферы вредными химическими веществами и разрушение озонового слоя. Однако некоторые ученые справедливо полагают, что человечество столкнулось еще с одним негативным явлением, таким, как загрязнение приземного слоя атмосферы и почвы избытком  $\text{CO}_2$ . А то, что содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличивается (главным образом из-за негатив-

ного антропогенного воздействия – чрезмерного сжигания органического топлива) – уже установленный факт.

Углекислый газ обладает большей плотностью, чем кислород или азот. Поэтому слой  $\text{CO}_2$  плотно покрывает водный и почвенный покров Земли. Сам по себе углекислый газ является опасным компонентом атмосферы для всего живого. Зарегистрированное увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  у поверхности Земли является причиной возникновения в одних местах сильнейших засух, а в других – опасных наводнений.

Схематично механизм иссушения почвы можно представить себе следующим образом. Припочвенный слой  $\text{CO}_2$  (до 100–110 см) нагревается более интенсивно от излучения Солнца, поскольку плотность этого газа почти в полтора раза выше плотности чистого атмосферного воздуха. Его температура почти всегда градуса на полтора выше средней температуры воздуха. Это способствует интенсификации испарения из почвы влаги, пары которой проходят через этот слой с потоком теплого воздуха. Все это приводит к иссушению почвы и возникновению так называемого «эффекта пустыни». Такой эффект наблюдался летом 1988 г. в США, когда жестокая засуха поразила огромную часть бассейна реки Миссисипи и ее притоков, заключенных между горными массивами Кордильер и Аппалачей. Следствием таких засух является чрезмерное увеличение осадков в других регионах.

Повышение содержания  $\text{CO}_2$  в приземном слое атмосферы может привести к массовому уничтожению всего живого в почвенном покрове и ухудшению его плодородия. Кроме того, кислородный «голод» ухудшает состояние человека и домашних животных. К примеру, в условиях городов уже в начале лета листва высаженных вдоль улиц деревьев – лип, каштанов, тополей начинает свертываться, сохнет, сереет и не достигает полноценного развития. Такие растения уже не в состоянии успешно расщеплять углекислый газ, и его концентрация постепенно увеличивается. В связи с этим неудивительно, что жители крупных городов (в особенности это относится к детям) часто страдают «беспричинной» утомляемостью.

В связи с угрозой углекислотного отравления необходим систематический контроль содержания  $\text{CO}_2$  на планете. Единственный выход в создавшейся ситуации – широкое использование альтернативных источников энергии.

## ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

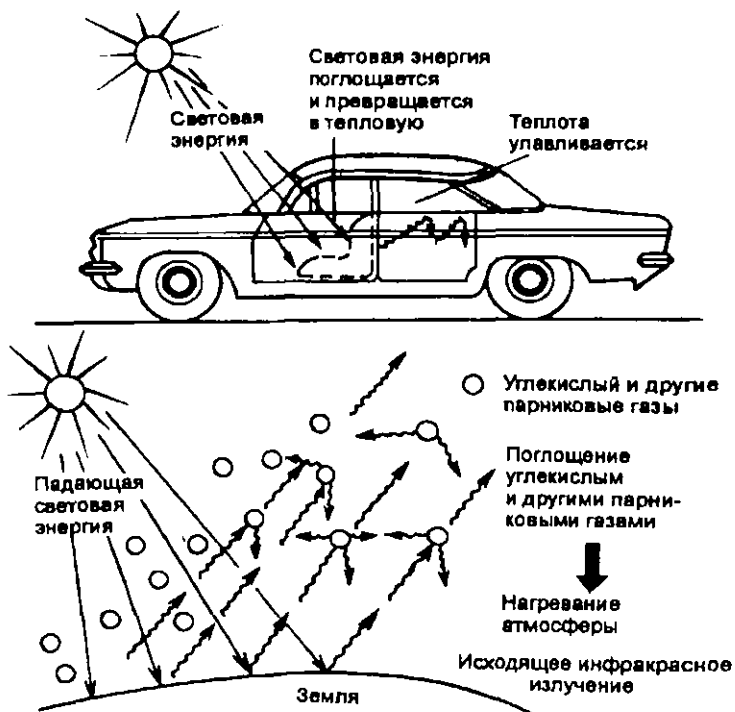
Средняя температура Земли в настоящее время составляет около  $15^{\circ}\text{C}$ . При данной температуре поверхность планеты и атмосфера находятся в тепловом равновесии. Нагреваясь энергией Солнца и инфракрасным излучением атмосферы, поверхность Земли возвращает в атмосферу в среднем эквивалентное количество энергии. Это энергия испарения, конвекции, теплопроводности и инфракрасного излучения.

В последнее столетие деятельность человека, связанная с техническим прогрессом, приносит дисбаланс в соотношение поглощаемой и выделяемой энергии. До вмешательства человека в глобальные процессы Земли изменения, происходящие на ее поверхности и в атмосфере, были связаны с содержанием в природе газов, которые с легкой руки ученых были названы «парниковыми». К таким газам относятся диоксид углерода, метан, оксид азота и водяной пар. Сейчас к ним добавились антропогенные хлорфторуглероды (ХФУ). Без газового одеяла, окутывающего Землю, температура на ее поверхности была бы ниже на  $30\text{--}40$  градусов. Существование живых организмов в таких условиях было бы весьма проблематичным.

Итак, парниковые газы временно удерживают тепло в атмосфере, благодаря чему создается так называемый парниковый эффект (рис. 71). Следует, однако, признать, что этот термин не совсем правилен. Стекло парника действительно пропускает солнечный свет и задерживает инфракрасное излучение, но процесс этот происходит только благодаря рассеянию тепла посредством конвекции. Однако термин «парниковый эффект» понятен каждому, и он прижился в научной терминологии.

Одна из основных экологических проблем связана с тем, что в результате техногенной деятельности человека некоторые парниковые газы увеличивают долю своего участия в общем балансе атмосферы. Это касается прежде всего углекислого газа, содержание которого из десятилетия в десятилетие неуклонно растет. Углекислый газ создает  $50\%$  парникового эффекта, на долю ХФУ приходится  $15\text{--}20\%$  и на долю метана —  $18\%$  (рис. 72).

В первой половине XX в. содержание углекислого газа в атмосфере оценивалось в  $0,03\%$ . В 1956 г. ученые провели специальные исследования в рамках Первого международного геофизического года. Приведенная величина была уточнена и составила  $0,028\%$ . В 1985 г. измерения были проведены снова, и оказалось, что количество углекислого газа в атмосфере возросло до  $0,034\%$ . Таким образом, увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере — факт доказанный.



*Рис. 71.* Схема возникновения парникового эффекта. Аналогично автомобилю или парнику атмосфера Земли нагревается: свет сквозь нее проникает, а инфракрасное излучение поглощается парниковыми газами. Чем выше концентрация этих газов, тем сильнее нагревается атмосфера

За последние 200 лет в результате антропогенной деятельности содержание оксида углерода в атмосфере увеличилось на 25 %. Связано это, с одной стороны, с интенсивным сжиганием ископаемого топлива: газа, нефти, сланцев, угля, а с другой — с ежегодным уменьшением площадей лесов, которые являются основными поглотителями углекислого газа. К тому же развитие таких отраслей сельского хозяйства, как рисоводство и животноводство, а также увеличение площадей городских свалок приводит к увеличению выделения метана, оксида азота и некоторых других газов. Следовательно, если количество вещества, поглощающего в инфракрасной области (например, углекислого газа), растет, то земная поверхность поглощает больше энергии и ее температура увеличивается.

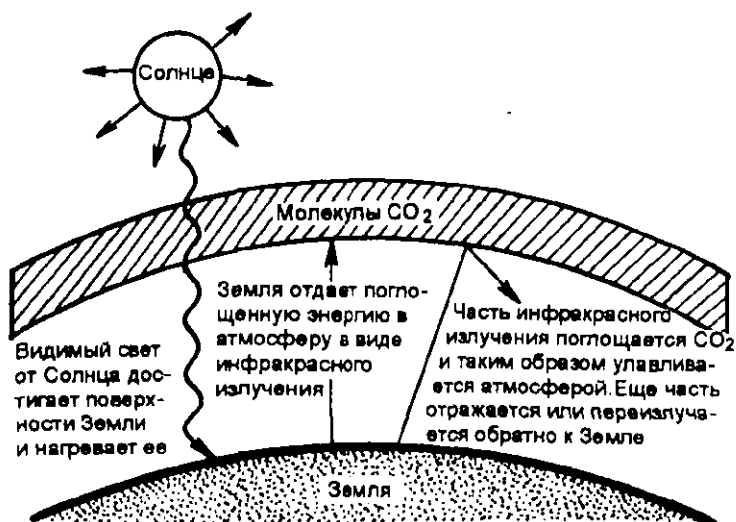


Рис. 72. Парниковый эффект, обусловленный присутствием углекислого газа в атмосфере

Вторым по значению «парниковым» газом является метан. Его содержание в атмосфере ежегодно увеличивается на 1 %. Биологические превращения метана способны осуществлять только очень специфические бактерии. Наиболее значимые его «поставщики» – свалки, крупный рогатый скот, рисовники. Запасы газа на свалках крупных городов можно рассматривать как небольшие газовые месторождения. Что касается рисовых полей, то, как выяснилось, несмотря на большой выход метана, в атмосферу его поступает относительно мало, поскольку большая часть расщепляется бактериями, связанными с корневой системой риса. Так что на поступление метана в атмосферу рисовые сельскохозяйственные экосистемы оказывают умеренное влияние.

Так где же метан максимально концентрируется в атмосфере? Такие максимумы были найдены в высоких широтах Северного полушария. Ученые установили, что в тундре, особенно над кочками с пушицей, довольно много метана. Там были найдены бактерии, в частности метаносарцина, образующие метан при низких положительных температурах (+5 °C). Метаносарцина является наиболее универсальной из метаногенов. Впоследствии было рассчитано предполагаемое местонахождение центров образования метана на Земле. Один из таких центров расположен в За-

падной Сибири, а область повышенного образования газа простирается через Северную Европу.

Таким образом, сегодня уже не остается сомнений, что тенденции использования преимущественно ископаемого топлива неизбежно ведет к глобальному катастрофическому изменению климата. При нынешних темпах использования угля и нефти в ближайшие 50 лет прогнозируется повышение среднегодовой температуры на планете в пределах от 1,5 °C (близ экватора) до 5 °C (в высоких широтах).

Повышение температуры в результате парникового эффекта грозит небывалым экологическим, экономическим и социальным взрывом. Уровень воды в океанах может подняться на 1–2 м за счет морской воды и таяния полярных льдов. Примерно 1/3 территории Бангладеш и 1/4 территории Египта может быть поглощена морем. Это станет началом трагедии для 46 млн людей. Повышение температуры вызовет понижение влажности почвы во многих регионах Земли. Засухи и тайфуны станут привычным явлением.

Глобальное потепление отразится и на состоянии лесов планеты. Лесная растительность, как известно, может существовать в очень узких пределах температуры и влажности. Большая часть ее может погибнуть, сложная экологическая система окажется на стадии разрушения, а это повлечет за собой катастрофическое уменьшение генетического разнообразия растений.

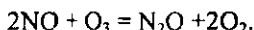
Исследования показали, что во избежание глобальной катастрофы необходимо уменьшить выбросы углерода в атмосферу до 2 млрд т в год (одна треть нынешнего объема). Учитывая естественный прирост населения, к 2030–2050 гг. на душу населения должно выбрасываться не более 1/8 объема углерода, приходящегося сегодня в среднем на одного жителя Европы.

Наше поколение является свидетелем начинающегося глобального потепления климата. На чем основаны эти доводы? Самым теплым годом с тех пор, как люди стали регулярно измерять температуру на поверхности Земли, является 1990 г. За период с 1850 г. шесть из семи самых теплых лет приходится на период после 1990 г. В то же время начиная с 1900 г. значительно увеличилось (в США, например, на 20 %) количество экстремальных осадочных явлений (снежные бури, ливневые дожди). Точные причины этого явления не установлены, однако его масштабы хорошо согласуются с компьютерными моделями последствий глобального потепления.

## ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ОЗОнового СЛОЯ ЗЕМЛИ

Озоновая проблема уже давно беспокоит экологов. Озон – это форма молекулярного кислорода ( $O_3$ ). Образуя в верхних слоях атмосферы (стратосфере) тончайший слой – так называемый озоновый экран, молекулы озона защищают все живое на Земле от ультрафиолетового излучения. При свободном попадании на Землю такие лучи способны вызывать у человека рак кожи, а также наносить вред животным и растениям. Ирония состоит в том, что те же самые молекулы озона в тропосфере (нижний слой атмосферы) представляют собой опасные элементы, разрушающие живую ткань.

Большую тревогу со стороны экологов вызывает влияние оксидов азота, которые выбрасываются реактивными двигателями сверхзвуковых самолетов на высоте 20–25 км (именно на этой высоте находится защитный слой молекул озона, которые задерживают жесткое ультрафиолетовое излучение космоса). Такие опасения основаны на свойстве оксида азота разрушать озон:



Когда на отечественные Ту-144 и англо-французские «Конкорды» возлагались большие надежды, было подсчитано, что предполагаемый авиапарк «убьет» за несколько лет до 15 % озона, который в высших слоях атмосферы защищает все живое от губительного жесткого излучения. Эта цифра заметно превышала ущерб, наносимый озоновому щиту основным его врагом – фреонами.

Как выяснилось, озон разлагают не только продукты сгорания топлива, но и сама ударная волна от сверхзвукового самолета. Подсчитано, что этой мощной волной самолет типа Ту-144, перелетая из Москвы в Алма-Ату, уничтожает несколько тонн озона.

В настоящее время отмечено образование так называемых «озоновых дыр» над Антарктикой, Европой, азиатским континентом. «Озоновая дыра» в верхних слоях атмосферы над Антарктикой, по данным Метеорологического управления Японии, достигла рекордных размеров: слой озона на высоте 15–22 км уменьшился на 45–75 %.

На структуру и свойства озонового слоя влияют различные хлорфторорганические соединения, и в частности фреоны. Почти все количество производимого в мире фреона (или фторорганических соединений) в конечном счете поднимается в верхние слои атмосферы и разлагается там под влиянием ультрафиолето-



вых лучей. Осколки фреоновых молекул разрушительно действуют на слой атмосферного озона. ХФУ уже разрушили от 3 до 5 % озонового слоя атмосферы. Одна молекула ХФУ в среднем разрушает 10 тыс. молекул озона.

Обеспокоенные прогнозами ученых представители 93 промышленных стран в 1987 г. в Монреале подписали первый глобальный договор по климату. В соответствии с ним предусматривается постепенное снижение выбросов ХФУ и других искусственных химических соединений, которые приводят к разрушению защитного озонового слоя нашей планеты.

Еще раньше, в 1979 г., в Женеве было проведено совещание на высоком уровне по охране окружающей среды, на котором были приняты важные международные документы: «Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния», «Резолюция о трансграничном переносе загрязнения воздуха» и «Декларация по малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов». Страны – участницы Конвенции взяли на себя функцию ограничивать и, насколько это возможно, постепенно сокращать и предотвращать загрязнение воздуха.

## ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Все источники загрязнения атмосферы условно можно разделить на две большие группы. *Естественные*, или *природные, загрязнители* не столь сильно влияют на качественные изменения воздуха, как более опасные *искусственные*, или *антропогенные, загрязнители*. К первым можно отнести различные проявления жизнедеятельности на нашей планете – извержения вулканов, лесные и степные пожары, насыщенные солями морские брызги и туманы, поднимающуюся в воздух пыль от эрозии, растительную пыльцу, выделения животных и, наконец, космическую пыль. Со всеми этими загрязнителями биосфера как саморегулирующаяся система благополучно справляется. Иногда, правда, катастрофические катаклизмы могут нарушать сложившийся в природе баланс. Так, уже упоминавшийся нами вулкан Кракатау близ острова Ява при извержении в 1883 г. выбросил огромное количество пепла и пыли. Все это сказалось на локальном изменении интенсивности солнечной радиации у поверхности Земли и вызвало небольшое изменение теплового баланса планеты. Сходный эффект могут вызывать крупные лесные пожары и пылевые бури.

Однако гораздо более опасны искусственные загрязнители — промышленные, транспортные и бытовые выбросы. Условно их можно разделить на несколько групп.

1. *Механические загрязнители* — различные выбросы промышленных предприятий (цементные заводы), дым от сгорания угля в котельных, топках и печах, сажа от сгорания нефти, истирающаяся резина автопокрышек и т. п.

2. *Химические загрязнители* — пылевидные или газообразные вещества, способные вступать в химические реакции.

3. *Радиоактивные загрязнители* — опасные выбросы радионуклидов в результате аварий на атомных электростанциях, атомных военных объектах, радиоактивное загрязнение от оружия массового поражения и от отходов ядерного производства.

Основным источником загрязнения атмосферы является промышленность и прежде всего тепловые электростанции и топки промышленных предприятий. При неполном сгорании топлива на этих предприятиях в атмосферу выделяются механические загрязнители — несгоревшие частицы, зола, хлопья сажи и т. п. Угольная электростанция мощностью 700 МВт, работающая при полной или средней нагрузке и потребляющая в год около 1 млн т угля с содержанием серы 1 %, за час работы на полной мощности выбрасывает в воздух: 500 т диоксида углерода, 0,15 т оксида углерода, 7,0 т диоксида серы, 1,7 т оксидов азота, 0,05 т углеводородов и 0,7 т пыли.

Значительную лепту в общий баланс механических загрязнителей вносят и цементные заводы. Цементная пыль способна превратить зеленый оазис в безжизненно-серый пустырь, кроме того, она значительно влияет на здоровье и самочувствие человека.

До недавнего времени существовала проблема загрязнения атмосферы резиновой пылью от истирающихся автопокрышек. Несмотря на усовершенствование технологий производства автопокрышек, эта проблема пока еще остается насущной. Достаточно сказать, что в год каждый автомобиль выделяет примерно 10 кг резиновой пыли.

Эксперименты на животных показали, что пыль, присутствующая в городском воздухе, может вызывать образование злокачественных опухолей. Такой материал, как асбест, широко применяемый в технике, способен провоцировать заболевания легких. Вдыхание асбестовой пыли может приводить к раку плевры, брюшины и легких.

В последнее время благодаря разработке и внедрению эффективных фильтров для промышленных предприятий количество

поступающих в атмосферу механических частиц снизилось. Первенство перешло к химическим загрязнителям. Прежде всего это сернистый газ, выделяющийся при сжигании угля, сланцев, нефти и ее производных. Помимо этого, металлургические заводы выбрасывают в воздух оксиды углерода, железа, меди и других металлов. Быстро развивающаяся химическая промышленность занимает особое место среди источников загрязнения атмосферы. Выброс широкого спектра газов, содержащих токсические вещества, приводит к опасному уровню загрязнения атмосферы в районах действия химических предприятий.

Весьма опасным для окружающей среды и для здоровья человека является такой токсикант, как свинец. Еще древние греки и римляне знали, что рабы, работающие на свинцовых рудниках, подвержены отравлению свинцовой пылью. Коварство отравления свинцом связано с тем, что при многолетнем поступлении в организм даже ничтожных количеств металла развивается тяжелое заболевание, поначалу никак себя не обнаруживающее. Даже если человек получает ежедневно всего миллиграмм свинца, у него через определенное время начинаются запоры, появляются боли в области сердца.

Интересно утверждение американского историка медицины Сибюри Гилфиллана о том, что массовое отравление населения свинцом привело к крушению Римской империи. Такое утверждение может вызвать усмешку, однако не следует торопиться. Дело в том, что в империи было принято подслащивать вино так называемой сапой – сильно уваренным в котлах виноградным соком. И с этой вот сапой представители высшего света древнеримского общества на своих пиршествах ежедневно получали намного более миллиграмма свинца в день. В дальнейшем привычка подслащивать сапой вино перекочевала и в Германию. В итоге в конце XVII в. в стране разразились многочисленные эпидемии кишечных колик, которые были напрямую связаны со свинцовым отравлением. В Вюртемберге в 1696 г. был даже принят закон, по которому каждому, кто будет подслащивать вино «свинцовым сиропом», грозит смертная казнь.

До недавнего времени наиболее опасными источниками загрязнения свинцом были двигатели автомобилей. Переход на бессвинцовый бензин несколько улучшил ситуацию со свинцовым загрязнением. В некоторых случаях отмечено уменьшение концентрации этого металла на 65 %. Тем не менее свинец, содержащийся в выхлопных газах автомобилей, может пагубно от-

ражаться на жизнедеятельности человека и на содержании свинца в почве близ оживленных автострад. Именно поэтому не рекомендуется собирать и использовать растения и их плоды вблизи автодорог.

Наиболее опасным загрязнением атмосферы все же следует признать радиоактивное заражение. В настоящее время ядерные электростанции действуют во многих странах мира (около 30). В каждом 1000-мегаваттном реакторе содержится столько же радиоактивного материала, сколько бы выпало после взрыва тысячи бомб мощностью с хиросимскую. Каждый реактор ежегодно производит тонны радиоактивных отходов, и некоторые из них остаются опасными в течение более чем 500 тыс. лет. До сих пор не найдено безопасных методов ликвидации и хранения этих веществ.

Кроме производства энергии, во многих «коммерческих» атомных реакторах ежегодно вырабатывается около 180–220 кг плутония, являющегося сырьем для производства атомных бомб. Пяти килограммов плутония достаточно для производства одной атомной бомбы. Плутоний – самое смертоносное из всех известных веществ. Этот элемент назван так в честь Плутона – бога подземного царства. Одна миллионная грамма плутония (невидимая глазу частица) при вдыхании внутрь может вызвать рак, одна тысячная вызывает фиброз легкого и смерть через несколько лет. Если равномерно распределить один фунт (450 г) плутония по дыхательному тракту всех людей на Земле, он теоретически может вызвать рак легких у каждого жителя.

В пищевой цепи плутоний в больших количествах содержится в рыбе, птице, яйцах и молоке. Он обладает хорошей растворимостью, особенно в хлорированной воде. Частички плутония могут откладываться в мужских и женских половых железах последующих поколений человека, вызывая множественные генетические повреждения на протяжении до 500 тыс. лет, а поврежденные гены будут передаваться от поколения к поколению.

Изотоп плутоний-241 имеет другое «убийственное» свойство. Он порождает америций – побочный продукт с периодом полураспада 460 лет. Америций из-за более высокой растворимости еще опаснее, так как с большей легкостью включается в пищевую цепь.

Из всех живых существ, населяющих планету Земля, человек является наиболее восприимчивым к канцерогенному воздействию радиации. Кроме провокации рака, радиация вызывает гене-

тические мутации — резкое изменение наследственных признаков организма. Причем воздействует она на все живые организмы. Основные источники радиационного воздействия на человека — производство атомной энергии и ядерного оружия. Они ведут к образованию сотен радиоактивных элементов, которые, внедряясь в пищевые цепи, циркулируют в почвах, реках, озерах, океанах.

Величина выбросов различных веществ в отдельных странах различна. Общемировой уровень загрязнения атмосферы в настоящее время точно установить невозможно из-за широкой изменчивости показателей в зависимости от места, времени, характера загрязнения и иных переменных величин.

На территории Республики Беларусь основными источниками загрязнения воздушного бассейна являются автотранспорт, предприятия теплоэнергетики, химической и нефтехимической отраслей промышленности. В 1995 г. ими было выброшено в атмосферу 2200,6 тыс. т токсических веществ. В составе выбросов преобладали оксид углерода (56,9 %), диоксид серы (14,3 %), углеродород (13,8 %), оксиды азота (8,9 %), твердые частицы (4,2 %). Среди крупных центров республики наибольший объем выбросов в 1995 г. приходился на Минск — 295 тыс. т. Наибольший объем загрязняющих веществ приходился на Витебскую обл. (432,7 тыс. т), наименьший — на Гродненскую (258 тыс. т). Следует отметить, что в настоящее время наблюдается тенденция к снижению объемов выбросов от стационарных источников и небольшому увеличению их от передвижных источников (главным образом за счет бензина и дизтоплива).

## КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ

Развитие промышленности, транспорта, освоение новых источников энергии приводит к тому, что количество промышленных выбросов постоянно увеличивается. Это связано главным образом с использованием горючих ископаемых на тепловых электростанциях, промышленных предприятиях, в двигателях автомобилей и в системах отопления жилых домов.

В результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу земли поступают соединения азота, серы, хлора и некоторые другие элементы. Среди них преобладают оксиды серы —  $\text{SO}_2$  и азота —  $\text{NO}_x$  ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Соединяясь с частицами воды, оксиды серы и азота образуют серную ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) и азотную ( $\text{HNO}_3$ ) кислоты раз-

личной концентрации. Из школьного курса химии хорошо известно, что кислотность среды, определяемая водородным показателем (рН), является величиной, характеризующей концентрацию ионов водорода в растворе, и численно равна отрицательному десятичному логарифму этой концентрации:  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ . Водные растворы могут иметь рН от 0 до 14. Нейтральные растворы имеют рН 7, кислая среда характеризуется значениями рН меньше 7, а щелочная — больше 7 (рис. 73).

До определенного времени проблема кислотных дождей считалась региональной, связанной главным образом с развитием промышленности северного полушария. Однако высокие выбросы серы и азота в местах, где используются техногенные ископаемые, сделали проблему кислотных дождей международной. Выбросы промышленных предприятий могут переноситься воздушными потоками на многие тысячи километров и вызывать кислотные дожди в странах, которые находятся на больших расстояниях от источников загрязнения.

Установлено, что на долю техногенных выбросов, связанных со сжиганием ископаемого угля, приходится около 60–70 % от их общего количества, на долю нефтепродуктов — 20–30 % и на остальные производственные процессы — оставшиеся 10 %. Сорок процентов выбросов  $\text{NO}_x$  составляют выхлопные газы постоянно растущей армии автомобилей.

Атмосферные осадки, характеризующиеся сильноокислой реакцией (обычно  $\text{pH} < 5,6$ ), получили название кислотных (кислых) дождей. Впервые этот термин был введен в употребление британским химиком Робертом Энгусом Смитом более века назад (1872 г.). Занимаясь вопросами загрязнения города Манчестера, Смит доказал, что дым и пары содержат вещества, вызывающие серьезные изменения в химическом составе дождя, и что эти изменения можно заметить не только вблизи источника их выделения, но и «в полях, на большом расстоянии от него». Он также открыл некоторые виды вредных воздействий кислотных дождей: обесцвечивание тканей, коррозию металлических поверхностей, разрушение строительных материалов и гибель растительности.

Специалисты отмечают, что термин «кислотные дожди» недостаточно точен. Для такого типа загрязнителей лучше подходит выражение «кислотные осадки». Действительно, загрязняющие вещества могут выпадать не только в виде дождя, но и в виде снега, облаков, тумана («влажные осадки»), либо в виде газа и пыли («сухие осадки») в засушливый период.

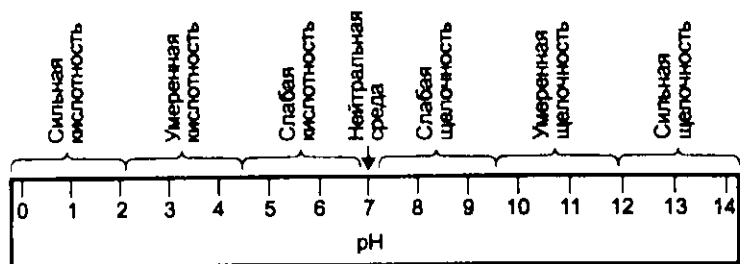


Рис. 73. Шкала pH

Несмотря на то что сигнал тревоги Роберта Смита прозвучал около ста лет назад, индустриальные государства долго игнорировали опасность кислотных осадков. И только в начале 50-х годов канадское правительство разработало программу изучения и мониторинга вод в озерах Новой Шотландии, где наблюдалось быстрое повышение кислотности. В 60-е годы Скандинавия сообщила об уменьшении косяков рыбы и даже ее полном исчезновении в некоторых озерах. В 1972 г. проблема кислотных дождей была впервые поднята Швецией на Конференции ООН по окружающей среде. С этого времени опасность глобального закисления окружающей среды превратилась в одну из наиболее острых проблем, обрушившихся на человечество.

Первыми жертвами кислотных дождей стали водоемы – озера и реки (рис. 74). Особенно пострадали озера Скандинавии, северо-восток США, юго-восток Канады и юго-запад Шотландии. Во многом это связано с тем, что местные почвы и коренные породы не способны в должной мере нейтрализовать кислотные осадки. Повышение кислотности водоемов влечет за собой увеличение содержания алюминия, крайне токсичного для рыб (летальная доза – 0,2 мг/л). Попутно фосфаты, которые играют особую роль в развитии фитопланктона – кормовой базы многих рыб, соединяются с алюминием и становятся менее доступными для ихтиофауны водоемов. Особенно опасно подкисление для океанических мелководий, поскольку уменьшение массы фитопланктона Мирового океана ведет к разрыву пищевых цепей и может изменить экологическое равновесие в океанической экосистеме.

По состоянию на 1985 г. в Швеции из-за кислотных дождей серьезно пострадал рыбный промысел в 2500 озерах. В 1750 г. из 5000 озер Южной Норвегии полностью исчезла рыба. Исследование водоемов Баварии (Германия) показало, что в последние



Рис. 74. Реакция организмов пресных водоемов на понижение кислотности (pH)

годы в них наблюдается резкое сокращение численности рыбы, а в отдельных случаях и полное ее исчезновение. При изучении 17 озер в осенний период было установлено, что показатель pH воды колебался от 4,4 до 7,0. В озерах, где показатель pH составил 4,4; 5,1 и 5,8, не было поймано ни одной рыбы, а в остальных озерах обнаружены только отдельные экземпляры озерной и радужной форели и гольца.

Хотя почвы и менее восприимчивы к подкислению, нежели водоемы, произрастающая на них растительность крайне негативно реагирует на увеличение кислотности. Кислые осадки в виде аэрозолей обволакивают хвою и листву деревьев, проника-



ют в крону, стекают по стволу, накапливаются в почве. Прямой ущерб выражается в химическом ожоге растений, снижении прироста, изменении состава подпологовой растительности.

Главными виновниками загрязнения воздуха и выпадения кислотных дождей являются США, страны СНГ, Польша, Германия, Великобритания, Канада и Китай.

## ПРОБЛЕМА ДЕФИЦИТА ПРЕСНОЙ ВОДЫ

Возможность получения пресной воды была одним из главных условий (или предпосылок) зарождения цивилизации, существования людей и развития любых производств. Для своих поселений человек издревле выбирал места вблизи водотоков. Посмотрите на карту мира. Все крупные города (да и большинство малых) основаны вблизи непосредственной близости водных источников – рек. Пути расселения человека по Земле также оказались путями воды. Заселение материков начиналось от рек. Вода с древнейших времен стала важнейшим и самым дешевым транспортным путем.

Древнейшие культуры начинали развиваться как водные цивилизации. Около 3–4 тысячелетий назад в плодородном междуречье Тигра и Евфрата неведомые нам люди начали сеять зерно. Именно это место считается одним из древнейших очагов цивилизации на планете. Здесь развивались государства Ассирия, Вавилония, Шумер. Уже тогда наши предки осознали: вода – это жизнь. Точно так же на жирных наносных почвах, образованных Индом и его притоками, выросла древняя индийская культура, а возникновение китайского земледелия принято связывать с рекой Вэйхэ – притоком Хуанхэ в Северном Китае.

Африка, где недостаток воды сказывается особенно сильно, также дала миру древнюю цивилизацию – египетскую. По берегам Нила возник созданный человеком оазис. Зеленая извилистая кромка вдоль берегов реки, окруженная пустыней, – вот то место, упоминание о котором связывается у нас с именами египетских фараонов. В высшей степени практичные египтяне начали ежегодно отмечать высоту паводка на Ниле за 3 тыс. лет до нашей эры. С научной точки зрения сами паводки египтян не интересовали, но высота воды показывала, какая площадь будет затоплена, а это давало возможность определить величину налогов с урожая. В жизни древних египтян Нил играл настолько большую роль, что деление года на периоды проводилось ими с учетом со-

стояния реки. Год начинался среди лета, когда разливалась река. Он делился на три сезона: сезон наводнения, сезон роста и сезон уборки урожая при самой низкой воде.

Человечеству для жизни нужна не просто вода, не любая вода, а вода пресная и определенного качества. А ее очень и очень мало. Не следует забывать, что из каждых 100 л воды на Земле 97 л имеют соленый вкус. Современные исследования показали, что суммарные запасы всех видов пресных вод суши – рек, озер, подземных и снежно-ледниковых ресурсов не превышают 2,5 % от общего количества воды на Земле. Запас воды в реках и озерах оценивается цифрой в 95 000 км<sup>3</sup>, т. е. всего 0,26 % от суммарных ресурсов пресных вод, или 0,007 % от общих запасов воды на Земле.

Любой житель цивилизованного общества привык, что стоит только повернуть кран, как из него тут же потечет струйка воды. Для нас это стало обыденным фактом. А вот известный немецкий зоолог, паразитолог и гидробиолог Ганс Либман в своей книге «Планета на пути к смерти» рассказал следующий случай.

Когда несколько десятилетий назад австралийского пигмея, жившего в условиях каменного века, доставили в большой город и показали ему все достижения технической цивилизации, его больше всего поразили не небоскребы, а тот простой факт, что дома, отвернув кран, мы можем получить воду. Инстинкт безошибочно подсказал аборигену, что завидовать надо не огромным домам или дорогам, построенным цивилизованным человечеством, а воде, которую можно иметь в любом количестве, в любое время суток прямо из водопровода.

Недостаток воды и ее плохое качество напрямую влияют на здоровье людей. Некоторые наиболее опасные заболевания встречаются именно в местах, где весьма затруднен доступ к источникам чистой воды.

Проблема питьевой воды связана с проблемой использования ее для получения продуктов питания. Сельское хозяйство требует больших водных затрат. А если приплюсовать сюда такого потребителя воды, как промышленность, то становится понятным, почему медленно, но верно запасы пресных вод на планете иссякают. Если в начале века промышленность потребляла всего 30 км<sup>3</sup> воды в год, то к 1975 г. водопотребление возросло до 630 км<sup>3</sup>, и, по прогнозам, в 2015 г. оно достигнет 2750 км<sup>3</sup> в год.

Насколько велики потребности в воде в промышленности и сельском хозяйстве, можно судить по следующим цифрам. Для

производства сахара из 1 т сахарной свеклы требуется 0,5–6 м<sup>3</sup> воды, 1 т бумаги – 1,5–60 м<sup>3</sup>, 100 л пива – 5–21 м<sup>3</sup>, для дубления 1 т сырой кожи – 20–50 м<sup>3</sup>; для выработки 1 т пряжи – до 200 м<sup>3</sup>, 1 т капронового волокна – 5600 м<sup>3</sup>, 1 т стали – 25 тыс. л., для выпуска одного автомобиля – 300 тыс. л., для орошения 1 га хлопка – 5–6 тыс. м<sup>3</sup>, 1 га риса – 15–20 тыс. м<sup>3</sup>.

Растущие города требуют свою долю живительной влаги. Для обеспечения потребности в воде современного города с миллионным населением требуется по крайней мере 0,5 млн м<sup>3</sup> воды в сутки из расчета 0,5 м<sup>3</sup> на человека. Обычно город сталкивается с триединой водной проблемой: снабжение водой, отвод сточных вод и пополнение запасов воды. Уже сейчас из-за загрязнения природных вод многие города вынуждены пополнять водные запасы из источников, находящихся на большом удалении от них, либо бурить глубокие водозаборные скважины. Все это требует затраты огромных средств.

И, может быть, не все было бы так плохо, если бы вода, которую мы используем или планируем использовать, была чистой. Однако проблема усугубляется тем, что качество ресурсов пресных вод постоянно ухудшается. Водные объекты все в большей мере загрязняются сточными водами и разного рода отходами.

Если учесть все сказанное, можно прийти к довольно печальному выводу. В первой четверти будущего века водные ресурсы на нашей планете будут практически близки к исчерпанию. В отдельных же странах, регионах и речных бассейнах источники воды могут быть исчерпаны значительно раньше. Поэтому решение водной проблемы должно вестись по трем главным направлениям: ограничение эксплуатации подземных запасов вод, экономия воды путем более эффективной ее доставки и регламентирования потребления, а также возрождение некогда чистых, а теперь загрязненных естественных водоемов.

## **ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

В 1996 г. одна из экологических лабораторий России обнародовала результаты анализа проб воды, взятых из Волги в границах Ярославской области. Как выяснилось, за предшествующие два года промышленные предприятия области сбросили в Волгу и ее притоки 500 т фосфора, 4 тыс. т азота, 400 т железа, 100 т

цинка, 22 т хрома, 65 т алюминия, 9 т свинца, 1400 т магния, а также 3 тыс. т нитратов и 750 т нефтепродуктов. Образно говоря, в Волге можно обнаружить большую часть элементов таблицы Менделеева.

В реки и озера Сибири ежегодно сбрасывается примерно 40 млн т токсичных веществ. Содержание органических веществ, аммонийного и нитратного азота, цинка, хрома, фенолов, меди в реках Сибири и Дальнего Востока превышает пределы допустимого на 30 %.

Сток пресных вод России формируется преимущественно в Сибири (84 %). Самые грязные реки российского Севера – это Северная Двина, Печора, Яна, Лена, Индигирка, Колыма, реки острова Сахалин, Кольского полуострова, нижнего течения Амура, Обь, Енисей.

Говорят, что 150 лет назад горничные, нанимавшиеся на работу в дома, расположенные в бассейне Рейна, ставили в контракте условие: при столновании блюда из лосося не должны подаваться более двух раз в неделю. Такие же условия ставили и батраки из Англии, нанимавшиеся на сельскохозяйственные фермы. А вот уже много лет лосось в Рейн вообще не заходит.

В далеком 1900 г. только голландские рыбаки выловили в Рейне (а Рейн – река пяти государств) 200 тыс. кг лосося, в 1930 г. – уже 10 тыс., в 1950 г. – только 3 тыс. кг этой ценнейшей рыбы, а в 1970 г. она полностью исчезла из-за катастрофического загрязнения реки. Это касается не только лосося, но и других видов рыб. После 1970 г. Рейн стал мертвой рекой. Позже благодаря усилиям немецких экологов запасы рыбы в реке постепенно начали восстанавливаться. Однако вряд ли в Рейне до конца восстановятся такие ценные виды рыб, как форель, лосось, хариус, усач и щука.

Кроме рек и озер планеты, сильному загрязнению подвергаются моря и океаны. Пути загрязнения могут быть самыми различными:

- сброс промышленных и сточных вод непосредственно в море или с речным стоком;
- смыв различных токсических веществ, используемых в сельском и лесном хозяйствах и при других видах хозяйственной деятельности;
- преднамеренное загрязнение на дне морей и океанов различных токсических (в том числе и радиоактивных) отходов;

- утечка загрязняющих веществ в результате судовых операций;
- аварийные выбросы с судов и из подводных трубопроводов;
- утечка при разработке полезных ископаемых на морском дне;
- перенос загрязняющих веществ через атмосферу;
- естественная утечка нефти через трещины земной коры.

Все виды загрязнения подземных и поверхностных вод можно свести к нескольким типам.

Прежде всего это химическое загрязнение сбросами вредных веществ: тяжелых металлов, фенолов, кислот, щелочей, цианидов и других минеральных и органических токсических веществ. Сюда же можно отнести и загрязнение окружающей среды выхлопными газами автомобилей. Загрязнители этого типа действуют на окружающую среду непосредственно, реагируя с теми или иными компонентами живой природы.

Второй тип загрязнителей – вещества, действующие медленно и относительно скрыто, хотя нередко довольно трудно различить скрытое или явное действие токсикантов. Это нефтяные углеводороды, продукты производства фенолов, галогенпроизводные инсектициды, гербициды, синтетические детергенты (применяющиеся в промышленности и в быту моющие средства).

Следующая группа загрязнителей – это органические вещества, способные к ферментации. Этот тип загрязнения относится к биологическому. Оно может возникнуть как следствие канализационного стока в реки либо без очистки, либо при недостаточной очистке, а также сброса промышленных предприятий – целлюлозно-бумажных, пищевых и текстильных.

Нельзя не упомянуть и радиоактивное загрязнение. До 1986 г. (авария на Чернобыльской АЭС) оно рассматривалось как загрязнение косвенное, затрагивающее в основном биологию человека. Феномен Чернобыльской аварии заставил пересмотреть эту точку зрения и признать огромную опасность, исходящую от радиоактивных загрязнителей не только для человека непосредственно, но и для всей биоты в целом.

Следующую группу составляют механические загрязнители, опасность которых также до недавнего времени преуменьшали. Это твердые инертные вещества: глина, шлам, песок, шлак, отходы соледобывающей и угольной промышленности.

И последнее в перечне — тепловое загрязнение, в основном от сбросов тепловых и атомных электростанций. Это загрязнение, особенно в сочетании с другими типами загрязнителей, представляет собой серьезную проблему для будущего.

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Речная сеть Беларуси хорошо развита. Средняя густота ее составляет 25 км на 100 км<sup>2</sup>. На территории Беларуси 20,8 тыс. рек и речушек. Их общая длина — 90,6 тыс. км. Однако свыше 90 % их количества — это водотоки, длина которых не превышает 10 км (так называемые малые реки). К числу крупных относятся такие речные артерии, как Западная Двина, Неман, Западный Буг, Виляя, Днепр, Сож, Припять. Максимальная густота речной сети отмечается на севере Беларуси — в бассейне Западной Двины, в условиях пересеченного рельефа (более 45 км на 100 км<sup>2</sup>), минимальная — на юге республики в бассейнах Буга и Припяти.

В Беларуси насчитывается свыше десяти тысяч озер (10 800). Среди них выделяются жемчужина Беларуси — озеро Нарочь (80 км<sup>2</sup>), Освейское (58 км<sup>2</sup>), Дрисвяты (45 км<sup>2</sup>), Червоное (40 км<sup>2</sup>), Дривяты (38 км<sup>2</sup>). Большинство озер расположено в северной части Беларуси — в Белорусском Поозерье. Озера здесь образовались в ледниковый период. Движущиеся огромные ледниковые глыбы выпахивали перед собой углубления, которые после таяния ледника заполнялись водой.

Озера Беларуси играют огромную роль в удовлетворении промышленных и бытовых нужд. Запасы содержащейся в них пресной воды идут в непосредственное использование человеком. Озера являются средоточием рыбных богатств и скоплениями такого ценного сырья, как сапропель.

В Беларуси, на первый взгляд, с питьевой водой дело обстоит не так уж плохо. На каждого жителя республики (учитывая всю пресную воду) приходится 20 м<sup>3</sup> пресной воды в сутки. Однако беда в том, что в большинстве своем эта вода загрязнена.

Давление антропогенного пресса сказалось и на состоянии водных ресурсов Беларуси. Белорусская вода содержит нефтепродукты, аммонийный и нитратный азот, фенолы, органические и биогенные вещества, соли тяжелых металлов. Минерализация воды крупных белорусских рек, таких как Неман, Днепр, Припять, возросла за последние 15 лет на 20 %. В каждом пятом ко-

лодце вода превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) по многим микробиологическим показателям и содержанию ядохимикатов. Повсеместно наблюдается значительное увеличение в воде концентрации минерального азота, фосфора, нитратов, меди, цинка, хрома, формальдегида, нефтепродуктов. Список можно было бы продолжить. Такое положение сложилось при обстоятельствах всем хорошо известных. Это прежде всего отсутствие очистных сооружений на промышленных предприятиях, чрезмерная химизация сельскохозяйственного производства, поступление сточных вод из городов. И хотя статистика показывает, что в последние годы качественный состав вод некоторых рек стал улучшаться (уменьшается содержание соединений азота, нефтепродуктов), оснований для оптимизма пока нет. Такое видимое «улучшение» следует расценивать в первую очередь как следствие повсеместного спада промышленного производства. В то же время в наиболее эксплуатируемых транспортных водных артериях состояние воды не улучшается.

Серьезные экологические нарушения связаны с деятельностью животноводческих комплексов, где технологии основаны на бесподстилочном выхаживании животных и смыве нечистот водой. Многие комплексы размещены в близости от водотоков, что приводит к загрязнению водной системы.

Для определения класса загрязненности поверхностных вод применяются следующие градации: I – очень чистая вода, II – чистая, III – умеренно загрязненная, IV – загрязненная, V – грязная, VI – очень грязная, VII – чрезвычайно грязная.

Многие крупные и средние реки по комплексной оценке отнесены к классу загрязненных. Наиболее загрязненной на территории республики является река Свислочь ниже г. Минска (ниже выпуска сточных вод Минской станции аэрации). По данным Госкомэкологии, в реку в 1992 г. ежедневно сбрасывалось 705 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод.

По состоянию на 1995 г. к классу загрязненных отнесены следующие участки рек Беларуси («Состояние природной среды Беларуси», 1996): р. Свислочь (г. Минск), р. Мухавец (г. Кобрин), р. Мухавец (г. п. Жабинка), р. Мухавец (г. Брест), р. Рыта (с. М. Радваничи), р. Лесная (г. Каменец), р. Лесная Правая (г. Каменюки), р. Ясельда (г. Береза), р. Уза (г. Гомель), р. Днепр (г. Могилев), р. Улла (г. п. Чашники), вдхр. Лошица (г. Минск).

Такому же антропогенному загрязнению подвергаются и наши голубые озерные жемчужины. В Заславском водохранилище

зарегистрировано повышенное содержание меди, фенолов, нефтепродуктов, аммонийного и нитритного азота. Увеличилось содержание этих загрязнителей в Лукомльском озере, куда сбрасываются воды местной ГРЭС. Не исключение здесь и знаменитое озеро Нарочь, где отмечено повышение концентраций аммонийного азота, меди, нефтепродуктов. Из-за чрезмерной концентрации в озерах биофильных элементов в них идут процессы эвтрофикации — повышения биологической продуктивности водных обитателей под действием антропогенных факторов. Разрастаются колонии цианобактерий («цветение воды»), и в связи с этим уменьшается количество доступного кислорода. В результате происходит крупномасштабное заглееение озер и уменьшение поголовья рыбного племени.

## СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ В МИРЕ И В БЕЛАРУСИ

Если представить Землю размером с куриное яйцо, то ее почвенный плодородный слой окажется настолько тонким, что его трудно будет различить невооруженным глазом.

Численность населения, занимающегося земледелием, все уменьшается. К концу века численность населения Земли превысит 6 млрд человек, а к 2100 г. она приблизится к 12 млрд. В настоящее время, согласно данным Международной группы национальных ассоциаций производителей агрохимических продуктов (GIFAP), 97 % всей сельскохозяйственной продукции в мире производится на площади, составляющей 3 % почвенного покрова земного шара. В течение последующих 50 лет мы должны будем производить столько же продуктов, сколько произведено с момента появления на Земле первых людей.

Сегодня на каждого жителя Земли, включая детей, приходится по 0,28 га плодородной земли. К первой трети XXI в. посевные площади, согласно прогнозу, возрастут на 5 %, в то время как население Земли возрастет до 8 млрд. Соответственно доля земельных угодий на каждого жителя планеты уменьшится до 0,19 га, т. е. она будет составлять еще на треть меньше, чем сегодня.

Для территории Беларуси характерны следующие основные типы почв: дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-болотные, дерновые, торфяно-болотные и пойменные. По составу подстилающих пород они подразделяются на песчаные, супесчаные, суглинистые на моренах, лессах, флювиогляциальных, аллювиальных, озерных и иных отложениях.



Общая площадь земли Беларуси оценивается цифрой в 20,76 млн га. На долю продуктивных земель приходится примерно 86 % этой площади, немногим более 6 % составляют земли, отведенные под дороги, постройки, торфоразработки и прочее, и около 8 % – так называемые неиспользуемые земли (болота, кустарники, пески).

На почвенный покров Беларуси в настоящее время оказывается значительное антропогенное давление. В первую очередь это проявляется в накоплении в почвах республики разного рода технофильных элементов, или продуктов техногенеза. Наиболее опасны продукты радиоактивного распада, которые загрязнили значительную часть почвенного покрова Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС.

К отрицательному техногенному фактору на территории Беларуси можно отнести и чрезмерную увлеченность минеральными удобрениями и ядохимикатами. Широкое использование минеральных удобрений в сельскохозяйственном производстве порождает ряд проблем. Ядохимикаты подавляют биологическую активность почв, уничтожают микроорганизмы, червей, уменьшают естественное плодородие почв. В пойменных землях Нечерноземья еще недавно было до 300 земляных червей на 1 м<sup>2</sup>. Сейчас их численность сократилась местами в десятки и сотни раз. У сотен видов насекомых возникли популяции, устойчивые к ядам, что заставляет искать новые дорогие препараты, усиливать химический пресс. Гибнет множество опылителей, и в связи с этим резко снижается урожайность полей гречихи, бахчевых культур.

## ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Ежегодные мировые потери плодородных почв на обрабатываемых землях в настоящее время составляют, по некоторым оценкам, 24 млн т. Для сравнения такая же площадь засеивается зерновыми во всей Австралии.

Одной из главных бед разрушения плодородного слоя является почвенная эрозия. Происходит она главным образом из-за так называемого «агропромышленного» земледелия: почвы распахиваются на больших площадях, а затем плодородный слой выдувается ветром или смывается водой. По этой причине к настоящему времени произошла частичная потеря плодородия почвы на площади 152 млн га, или 2/3 общей площади пахотной земли.

Установлено, что 20-сантиметровый слой почвы на пологих склонах разрушается эрозией под культурой хлопка за 21 год, под культурой кукурузы — за 50 лет, под луговыми травами — за 25 тыс. лет, под пологом леса — за 170 тыс. лет.

Ежегодный объем смыва почвы на земном шаре в результате водной эрозии достигает примерно 25 млрд т. В конечном счете вся эта почва попадает в реки, а затем в океаны. Водная эрозия приводит к тому, что продуктивность сельскохозяйственных угодий резко снижается. Накопленный осадочный материал в низовьях рек препятствует судоходству, создает угрозу наводнений и заиливания водохранилищ.

Естественная почвенная эрозия протекает довольно медленно. Ее причиной могут быть ливни, продолжительные засухи, сильные ветры. Однако главная угроза почвенному покрову проистекает от деятельности рук человеческих. Эрозия возникает в случае внедрения систем сельскохозяйственного производства, разработанных без учета подверженности почв смыву или дефляции (развевание, выдувание). Наиболее известный пример дефляции — разрушение почвенного покрова на огромных площадях штатов Канзас, Техас и Оклахома в США 12 мая 1934 г. В тот день ветер необычной силы срывал почву на площади в миллионы гектаров, поднимая в воздух облака земляной пыли. Двадцатипятисантиметровый слой плодородной почвы за несколько часов был рассеян в пространстве на тысячи километров к востоку и на три тысячи метров в высоту. Через некоторое время небо над отдаленными Нью-Йорком и Вашингтоном было закрыто этой необычной земляной тучей. Катастрофа стала следствием распахивания плодородной земли, на которой в свое время паслись бизоны, и выращивания на ней монокультуры (единственной сельскохозяйственной культуры). Как только наступили засушливые годы, почва, лишенная растительного покрова, превратилась в мелкую пыль, и первый же порыв ветра сорвал ее с места.

Разрушению почв способствуют также неумеренный выпас скота, вырубка лесов, подсечно-огневое земледелие. Особенно опасна вырубка горных лесов, приводящая к печальным последствиям. Со склонов гор, лишенных зелени, дожди смывают почву, делая изменения необратимыми. Новые лесопосадки тут уже не приживутся. На равнинах происходит эрозия почв, земля родит все меньше, местное население лишается основного хлеба — риса. Реки выносят смытую с полей почву в море. Если поблизости находятся богатые животным и растительным населе-

нием коралловые рифы, то они подвергаются непосредственной опасности: мельчайшие почвенные частицы оседают на прибрежных кораллах. Это означает, что заодно уничтожается еще один лес — подводный: ведь он, как и лес обычный, живет солнцем. Заиленная вода не пропускает лучи, и уникальный многокрасочный коралловый мир становится серым, мертвым, местное население лишается рыбы.

Уничтожение лесной и травянистой растительности, перевыпас, водная и ветровая эрозия превратили территории некогда «зеленых» стран Ближнего Востока и Северной Африки в области с большим распространением пустынь и полупустынь. Существует мнение, что все пустыни Ближнего Востока — дело рук человека. В свое время Сирия снабжала Египет лесом, а Северная Сахара поставляла зерновые в Древний Рим. Кстати, в переводе с арабского языка Сахара и означает «пустыня». Склоны гор и долины Ливана, Приморского Египта, Туниса 2–3 тысячелетия тому назад были покрыты богатой растительностью. Оттуда вывозились в другие страны древесина, зерно, оливы, вино и т. д. На землях Восточной Сахары, в плодородных прежде саваннах, еще до 2700 г. до н. э. скотоводы-кочевники пасли свои стада.

Ежегодно из-за размывания почвы во влажных районах Африки, Азии и Латинской Америки теряется 5–7 млн га пахотных земель, из-за опустынивания исчезает 15 млн гектаров леса. Сегодня опустыниванием охвачена территория, равная по площади Северной и Южной Америке. Ежегодно около 6 млн га плодородной земли подвергается полному опустыниванию, а еще 21 млн га деградирует в такой степени, что растениеводство становится экономически невыгодным. Около 3/4 земель в засушливых районах в той или иной степени уже подверглись опустыниванию (рис. 75).

Типичными причинами опустынивания являются перевыпас, обезлесение, интенсивное выращивание товарных культур на землях, более пригодных для выпаса скота.

Большой ущерб почвенному слою Земли наносит засоление его в результате неправильной мелиорации или применения разрушительных технологий при использовании водных ресурсов. Примеров тому множество. Один из наиболее печальных — судьба знаменитого Аральского моря.

До 1973 г. Аральское море было четвертым по площади водоемом в мире, не считая океанов. Однако неразумная политика в области сельского хозяйства привела к тому, что вода двух рек —

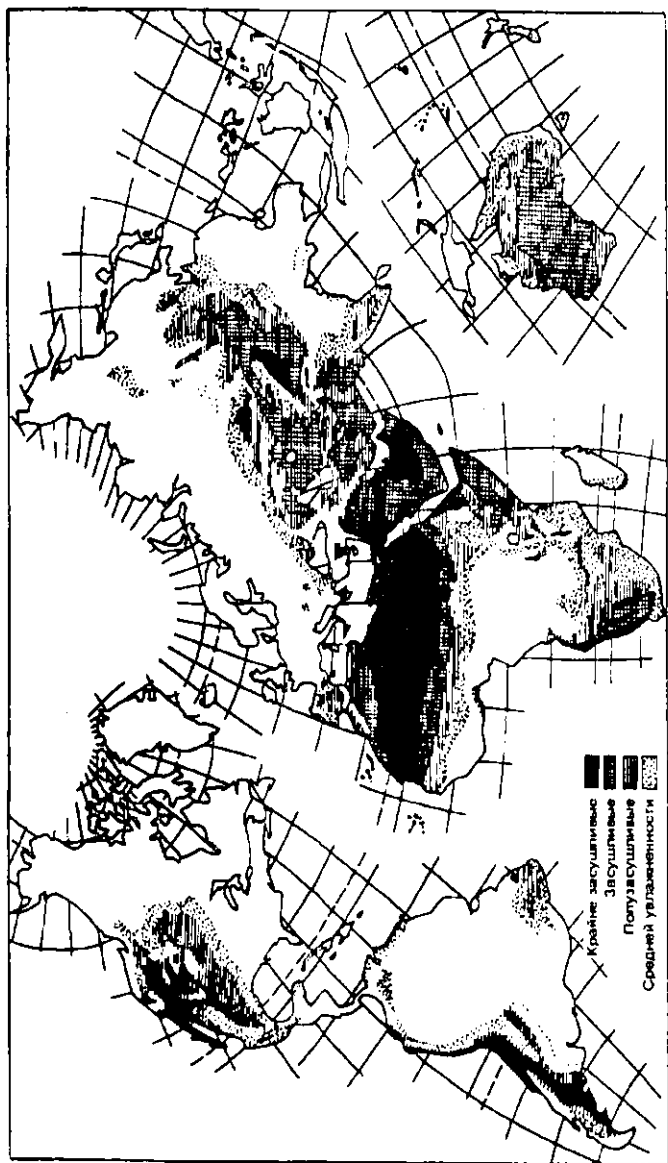


Рис. 75. Районы засушливых земель в мире

Аму-Дарьи на юге и Сыр-Дарьи на северо-востоке, питающих Арал, постоянно и в больших объемах перекачивалась на орошение хлопковых полей. Монокультура хлопка требовала много воды. Это привело к тому, что с 1960 г. уровень воды в море упал на 13–14 м, а его объем и площадь уменьшились на 66 и 40 % соответственно. К 1989 г. поступление в море воды из двух питающих его рек сократилось в 8 раз. Зажатое между двумя пустынями – Кызылкум и Каракум некогда рыбное море превратилось в соляную пустыню. Мощные пыльные бури на большие расстояния разносят соль и песок. На каждом гектаре окружающих море полей ежегодно оседает до полутонны соляной пыли в год.

Антропогенное засоление территории происходит за счет обогащения почвы и других субстратов различными солями – продуктами жизнедеятельности животных и человека или техногенного воздействия (бытовые сточные воды, стоки промышленных предприятий, стоки с дорог, на которых соли используются вместе с песком для предотвращения гололеда).

Уплотнение почвы и прочих субстратов вызывает нарушение воздушно-газового режима и других их физических свойств. В результате действия этого фактора изменяются плотность и пористость субстрата, содержание кислорода в корнеобитаемом слое, что приводит к нарушению корневого питания и других физиологических процессов у растений, а в конечном итоге – к исчезновению из экосистем видов, не устойчивых к данному воздействию.

Большой урон почвам наносят также химические способы борьбы с сорной растительностью в сельском и лесном хозяйстве. Они связаны с такими негативными явлениями, как нарушение биологического равновесия, уменьшение видового разнообразия сообществ почвенных организмов, снижение биохимических процессов, изменение физико-химических свойств, снижение устойчивости почвенной экосистемы к неблагоприятным факторам внешней среды. На современном этапе химизации сельского хозяйства вопрос об охране почв, и в первую очередь с низким уровнем биогенности, приобретает особую актуальность.

## **РЕСУРСЫ СЫРЬЯ И ЭНЕРГИИ**

Энергия всегда играла и продолжает играть важную роль в жизнедеятельности человеческого общества. Все виды деятельности человека связаны с затратами энергии. Переход человечества к освоению новых видов топлива для получения необходи-

мой для промышленного производства энергии связан с так называемыми «промышленными революциями». Эти промышленные революции, которые человек целиком относит на свой счет, не смогли бы произойти без запасов энергии, законсервированной растениями в ископаемом топливе. Погибая, растения аккумулировали энергию в отложениях каменного угля, торфе и даже нефти.

Первая такая промышленная революция, которая в XIX в. полностью преобразовала аграрные страны Европы, а затем и Америки, произошла в результате перехода от древесного топлива к ископаемому угольному. Позже уголь постепенно заменили нефть и природный газ. Потом пришла эра электричества. Открытие электричества оказало огромное влияние на жизнь человечества и содействовало зарождению и росту крупнейших городов мира.

Применение нефти и природного газа в сочетании с развитием электроэнергетики, а затем и освоение энергии атома позволили промышленно развитым странам осуществить грандиозные преобразования, итогом которых стало формирование современного облика Земли.

Энергия неразрывно связана с повседневной жизнью каждого человека. Проблемы энергетики затрагивают все слои человеческого общества. Рассматривая энергию как таковую, весьма важно отличать различные ее виды на определенных стадиях преобразования и использования.

Прежде всего это *первичная энергия*, которая содержится в первичных природных источниках. В качестве такого источника можно рассматривать воду, падающую через плотину. Источниками первичной энергии являются также каменный уголь, нефть, природный газ, природный уран. Иногда первичная энергия может выступать в роли *конечной энергии*, то есть энергии, непосредственно обеспечивающей энергетические нужды потребителя. Одним из источников такой энергии является природный газ.

В большинстве случаев первичная энергия преобразуется во *вторичную энергию*. Примерами источников вторичной энергии служат электричество и бензин.

Способы преобразования первичной энергии во вторичную могут быть разными. В одном случае она может преобразовываться на тепловых электростанциях (энергия падающей воды превращается в электрическую) и нефтеперерабатывающих предприятиях, где нефть преобразуется в более удобные виды

энергии – бензин, керосин, дизельное топливо, лигроин. В другом случае это может быть атомная электростанция, где используется энергия расщепленного ядра. Необходимо помнить, что при любом преобразовании первичной энергии во вторичную происходят ее потери, так же как и при доставке энергии потребителю.

Вторичная энергия в форме конечной энергии используется человеком в свечении электрической лампочки, работе кофемолки, компьютера или мотора.

Последний этап – превращение конечной энергии в полезную, т. е. в энергию, которая фактически переходит в продукцию или используется в обслуживании.

В настоящее время на каждого из живущих на Земле людей приходится около 3 кВт энергии. Для сравнения: электрокамин с одной спиралью обычно потребляет 1 кВт. Однако это потребление энергии неодинаково в различных районах мира. Наиболее высоко оно в странах Северной Америки и Европы. В развивающихся странах потребление энергии составляет около 500 Вт, а промышленно неразвитые страны живут на уровне потребления менее 100 Вт на человека.

Основным источником энергии в современном мире является ископаемое топливо. Оно состоит из остатков растений, произраставших в доисторическую эпоху. Энергия ископаемого топлива заключена в химических связях соединений, которые были образованы растениями прошлых эпох при посредстве реакции фотосинтеза. Ископаемое топливо – это главным образом углерод в сочетании с другими элементами.

До недавнего времени основным источником ископаемой энергии был уголь. Его образно называют «похороненным солнечным светом». Подавляющая часть угля образовалась 210–280 млн лет назад в так называемый каменноугольный период, когда происходило химическое преобразование гигантских масс отмерших трав и деревьев. Пятьдесят лет назад уголь обеспечивал почти все энергетические потребности человечества. Его залежи сосредоточены в основном в странах бывшего СССР, США и Китае. Здесь сосредоточено около 88 % известных запасов угля. Считается, что в настоящее время запасы угля в четыре раза превышают количество уже добытого сырья. Подсчитано, что мировые залежи каменного угля обладают энергетическим потенциалом, в 25 раз превосходящим нефтяной. Сейчас уголь покрывает мировые потребности в энергии примерно на 30 %. Если предположить, что человечество откажется от всех других ис-

точников энергии и будет использовать только каменный уголь, то его хватит еще примерно на 200 лет.

По мнению специалистов, в будущем широкое применение угля будет связано с его газификацией – получением топлива в виде синтетического метана и синтетической нефти. Это в значительной мере повысит конкурентоспособность угля как заменителя нефти и природного газа.

Наилучшим видом ископаемого топлива является нефть. Однако ее запасы постепенно уменьшаются. В настоящее время в мире уже использована треть известных и доступных для добычи запасов нефти, а в США – половина.

Более долгое будущее, нежели нефть, вероятно, будет иметь природный газ. До настоящего времени было использовано примерно около 40 % известных его запасов. Согласно подсчетам, энергоэквивалент подтвержденных запасов газа составляет примерно 2/3 запасов нефти. Поскольку в настоящее время нефти потребляется примерно в 2,5 раза больше, чем газа, то последнего должно хватить на значительно больший период времени. Прогнозируется, что максимальный уровень мировой добычи газа будет достигнут в 2030 г.

Еще одним источником энергии являются горючие сланцы и битуминозные пески. Добываемая нефть может представлять собой не жидкость, а довольно вязкую массу. В этом случае порода именуется битуминозным песком. Если же нефть смешана с мелкими частицами, которые лишают ее текучести, то такая порода носит название горючих сланцев. Месторождения горючих сланцев преимущественно сосредоточены в Северной Америке (70 %) и в Латинской Америке (25 %), битуминозных песков – в Канаде, Южной Америке, Сибири и Нигерии. Их запасы приближаются к запасам природного газа. Получаемое из них топливо сравнительно дорогое, поскольку и сланцы, и пески требуют предварительной термической обработки. Прогнозируется, что максимум добычи этого ископаемого топлива будет приходиться на 2010 г.

## **ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Из всех вмешательств человека в природу наиболее широкомасштабным и опасным можно считать применение реакции деления ядра. Ионизирующая радиация стала одним из самых серьезных факторов загрязнения окружающей среды.



В настоящее время в мире эксплуатируется более 400 энергоблоков в 25 странах. В стадии строительства до 1986 г. находилось примерно 200 реакторов. Катастрофа на ЧАЭС внесла свои коррективы в прогноз роста мощностей АЭС. Тем не менее развитие ядерной энергетики продолжается.

Чтобы получать то количество энергии, которое сейчас производят атомные электростанции, используя уголь и нефть, потребовалось бы дополнительное количество угля, равное тому, что ныне используют в США, или дополнительное количество нефти, равное тому, что добывают в Саудовской Аравии. Самая высокая доля ядерной энергетики принадлежит Франции – более 70 %, в Бельгии она составляет 66 %, в Швеции – 50, в Финляндии – 37, в Великобритании и США – 18, в Японии – 29, в Южной Корее – 53, в Венгрии – 39, в бывшем СССР – около 11 %.

По вопросу целесообразности и безопасности ядерной энергетики существовали и существуют противоречивые мнения. Одна из точек зрения состоит в том, что если сравнивать ядерную энергетику с другими способами производства электроэнергии, она якобы является одним из наиболее чистых источников энергии. Такой взгляд господствовал во времена, предшествовавшие крупнейшей экологической катастрофе современности – аварии на Чернобыльской АЭС. Тогда ученые-теоретики с полной серьезностью утверждали, что шансы погибнуть в автодорожном происшествии равны 1:4000 в год, а вероятность серьезной аварии ядерной установки равна 1:5 000 000 000 в год. Считалось, что серьезная авария ядерной установки в тысячу раз менее вероятна, чем сильное землетрясение или прорыв крупной плотины.

В настоящее время уже никто не рискует делать такие благодушные заявления, поскольку стало ясно, какой опасный ядерный джин был выпущен из чернобыльской бутылки. Действительно, задымление воздуха – это мелочь по сравнению с загрязнением воздуха, воды и почвы ионизирующей радиацией. Радиоактивное загрязнение не идет ни в какое сравнение с тем, с чем ранее сталкивалось человечество.

Даже если атомные электростанции будут работать в безаварийном режиме, существует еще одна опасность, угрожающая роду человеческому. Это радиоактивные отходы. В отличие от прочих загрязнителей, методов устранения радиоактивности в настоящее время не существует, как и способов контролирования радиоактивных отходов. Все, что предложено до сих пор, дает человечеству лишь ничтожную надежду, что когда-нибудь позже

вопрос утилизации радиоактивных отходов будет решен. Таким образом, мы взваливаем на плечи грядущего поколения задачу, решения которой не знаем сами.

Каждый 1000-мегаваттный реактор содержит столько радиоактивного материала, сколько его выпало бы после взрыва тысячи бомб, эквивалентных хиросимской. Каждый реактор ежегодно производит тонны радиоактивных отходов, которые остаются опасными в течение более чем 500 тыс. лет. Атомная электростанция мощностью 1000 МВт производит около 200 кг отходов в год. Умножив эту цифру на число действующих в мире АЭС, мы получим 70 т отходов в год с периодом полураспада в 24 300 лет. Это означает, что отходы будут представлять угрозу для здоровья людей еще полмиллиона лет в течение жизни 16 тыс. поколений.

Нефть и уголь,жигаемые на современных электростанциях, стали причиной выпадения кислотных дождей, серьезно влияющих на состояние окружающей среды. В целом использование любых органических видов топлива чревато разрушительными экологическими последствиями.

Из всех источников энергии в настоящее время только гидроэнергетика вносит существенный вклад во всемирное производство электроэнергии (21 %). О ней часто говорят как об экологически чистом способе производства электроэнергии. Однако тот факт, что при строительстве гидроэлектростанций возникает необходимость затопления обширных площадей, обжитых человеком или представляющих собой естественные природные комплексы, настораживает. Ученые приводят данные, согласно которым площадь земель, затопленных при строительстве гидроэлектростанций на территории бывшего СССР, примерно равна площади всей Франции!

Крупные гидроэнергетические сооружения часто несут в себе опасность крупных катастроф. К таким катастрофам можно отнести аварию в 1979 г. на плотине в Морви (Индия), которая унесла около 15 тыс. жизней. В 1963 г. авария плотины в Вайонте (Италия) привела к гибели 3 тыс. человек.

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Альтернативные источники энергии – это ветер, солнце, приливы и отливы, биомасса.

В настоящее время солнечную энергию используют в некоторых странах в основном для отопления, а для производства энергии – лишь в незначительных масштабах.

Ветряные мельницы давно зарекомендовали себя в качестве альтернативного источника энергии. Однако они эффективны и экономичны только для мелкого пользователя. К сожалению, энергия ветра пока еще не в состоянии давать электроэнергию в достаточных количествах. Солнечная и ветровая энергетика имеет серьезный недостаток – временную нестабильность именно в тот момент, когда она особенно нужна. В связи с этим необходимы системы хранения энергии, чтобы потребление ее могло быть возможно в любое время, но экономически зрелой технологии создания таких систем пока нет.

Проблема использования нетрадиционных источников энергии в последнее время особенно актуальна. Это, несомненно, выгодно, хотя подобные технологии и требуют значительных затрат. Один из примеров создания такой технологии – сооружение солнечной электростанции в калифорнийской пустыне. В 1996 г. там была построена высокая башня, заполненная тоннами соли. На ее крыше установлены 1900 солнечных батарей. Днем электростанция «питается» непосредственно от Солнца, а в вечернее время, после его захода, соль, разогретая за день с помощью солнечных батарей до температуры 500 °С, доводит до кипения воду, и последняя, превращаясь в пар, раскручивает турбины. Это первая в мире солнечная электростанция – прообраз будущих подобных электростанций, способных вырабатывать и хранить электроэнергию.

Подобные установки перспективны для регионов с постоянным снабжением солнечной энергией и в первую очередь густонаселенных стран третьего мира, таких как Китай, Индия, где потребление энергии ежегодно возрастает на 10 %.

Возведение таких электростанций в настоящее время – удовольствие дорогое. Сооружение электростанции, способной обеспечить электроэнергией около 10 тыс. бытовых потребителей (мощность около 10 мВт), обойдется в 190 млн долларов США. Это в четыре раза больше, нежели расходы на сооружение ТЭС, работающей на твердом топливе, и в три раза дороже, чем строительство гидроэлектростанции или АЭС. Тем не менее эксперты по использованию солнечной энергии уверены, что с развитием технологии использования энергии Солнца цены на нее значительно снизятся.

Будущее энергетики – за ветряной и солнечной энергией. В 1995 г. в Индии приступили к осуществлению широкой программы по выработке энергии с помощью ветра. В США мощность

ветряных электростанций составляет 1654 МВт, в Европейском Союзе – 2534 МВт, из них 1000 МВт вырабатывается в Германии. Энергия, получаемая с помощью ветра, может постоянно возобновляться. Ветряные станции не загрязняют окружающую среду. С помощью ветряной энергии можно электрифицировать самые отдаленные уголки земного шара. К примеру, 1600 жителей острова Дезират в Гваделупе пользуются электричеством, которое вырабатывают двадцать ветряных генераторов.

Для использования энергии приливов и отливов обычно строят приливные электростанции в устьях рек либо непосредственно на морском берегу. Конструкция такой станции примерно следующая. В обычном портовом волноломе оставляются отверстия, куда свободно поступает вода. Каждая волна повышает уровень воды, а вместе с тем и давление остающегося в отверстиях воздуха. «Выдавливаемый» наружу через верхнее отверстие воздух приводит в движение турбину. С уходом волны возникает обратное движение воздуха, который стремится заполнить вакуум, и турбина получает новый импульс к вращению. Согласно оценкам специалистов, такие приливные электростанции могут использовать до 45 % приливной энергии.

Одним из достижений использования альтернативной энергии, широко применяющемся в целом ряде государств, является производство биогаза из биомассы, образованной отходами жизнедеятельности животных и человека. Оно основано на анаэробном разложении целлюлозы и содержащего азот органического вещества смешанными популяциями микроорганизмов, куда входят бактерии, расщепляющие целлюлозу на органические кислоты и превращающие их затем в метан.

Опыт, накопленный в Индии, показывает, что навоз от 10 коров дает ежедневно  $1,8 \text{ м}^3$  биогаза, что эквивалентно 1,3 л бензина. Этого достаточно для приготовления пищи для четырех человек или работы стосвечевой лампочки в течение 14 часов. Кроме того, отработанный остаток является отличным удобрением, по своей ценности намного превосходящим навоз.

В Индии для получения биогаза используется около миллиона дешевых и простых установок, а в Китае их свыше 7 млн. С точки зрения экологии биогаз имеет огромные преимущества, так как он может заменить дрова и таким образом способствовать борьбе против ликвидации лесов и опустынивания. В Европе уже целый ряд установок по очистке городских сточных вод удовлетворяют все свои энергетические потребности за счет производимого ими биогаза.

Еще одним альтернативным источником энергии является различное сельскохозяйственное сырье – сахарный тростник, сахарная свекла, картофель, топинамбур и др. Из него методом ферментации в некоторых странах производят жидкое топливо, в частности этанол. Так, в Бразилии растительную массу преобразуют в этиловый спирт в таких количествах, которые удовлетворяют большую часть потребностей в автомобильном топливе. Сырье, необходимое для организации массового производства этанола, – это в основном сахарный тростник. Сахарный тростник активно участвует в процессе фотосинтеза и производит больше энергии на каждый гектар обрабатываемой площади, чем другие культуры. В настоящее время его производство в Бразилии составляет 8,4 млн т, что соответствует 5,6 млн т бензина самого высокого качества.

В США уже в течение нескольких лет производится «биохол» – горючее для автомобилей, содержащее 10 % этанола, полученного из кукурузы.

## Глава 8

**ЭКОЛОГИЯ  
КАК ОСНОВА  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
И ОХРАНЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Немудрено добраться  
До скрытых тайников,  
Разграбить все богатства  
У будущих веков.

Мы общей жизни зерна,  
Одной судьбы родня,  
Нам пировать позорно  
В счет будущего дня.

Поймите, это, люди,  
Как собственный приказ,  
Не то Земли не будет  
И каждого из нас.

М. ДУДИН

Слышу я Природы голос,  
Порывающейся крикнуть,  
Как и с кем она боролась,  
Чтоб из хаоса возникнуть.

Может быть, и не во имя  
Обязательно нас с вами:  
Но чтоб стали мы живыми  
Мыслящими существами.  
И твердит природы голос:  
«В вашей власти,  
в вашей власти,  
Чтобы все не раскололось  
На бессмысленные части»

Л. Мартынов

# РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

С первых шагов человека по Земле его жизнь неотделима от природной среды, дома, в котором он обитает. И только природе он обязан своему существованию на планете по имени Земля. На протяжении всей своей истории человек старался познать объективные закономерности природы. Постепенно, воздействуя на нее с помощью постоянно совершенствующихся орудий и средств труда, человек преобразовывал окружающую его среду.

В последнее время в экологической литературе наряду с термином «природная среда» употребляется термин «окружающая

среда». Окружающая среда включает в себя гармоническое сочетание естественного и преобразованного человеком мира живой и неживой природы. Окружающая среда является для человека источником материальных и духовных благ, она обеспечивает экономическое процветание и культурный прогресс всех цивилизаций.

Нобелевский лауреат этолог Н. Тинберген так сказал о взаимоотношениях человека и окружающей среды: «Мы так быстро меняем окружающую среду..., что наши генетически обусловленные поведенческие приспособления не поспевают за столь резкими преобразованиями. Не в наших силах ускорить генетическую эволюцию человека и приспособить ее к этим порой ужасающим изменениям. Наша единственная надежда — научиться управлять этой новой средой».

Но чтобы управлять окружающей средой, ее нужно знать, то есть представлять, как те или иные ее изменения отражаются на человеке и обществе, к каким последствиям ведут. И здесь на помощь приходит экология. Потребности экологии стимулировали углубление знаний о механизмах развития различных природных сред, подвергающихся непосредственному воздействию человека, — воздушного бассейна, водных ресурсов, почвенного покрова, ледников, пустынь, горных областей, лесных экосистем.

Современная экология ориентирует все науки на решение своеобразной «сверхзадачи» — поисков гармонии человека и природы, создает научные основы рационального использования природных и биологических ресурсов и охраны природы. И хотя в последнее время наблюдается некоторое смешение таких понятий, как экология, охрана природы, охрана окружающей среды и природопользование, несомненна самостоятельность экологии как фундаментальной основы всех областей природоохранного знания, конечная цель которых — сохранение среды обитания человека, природы Земли ради здоровья и жизни людей.

Охрана природы нацелена на поддержание рационального баланса между деятельностью человека и окружающей средой с целью сохранения и восстановления природных ресурсов и предупреждения вредного влияния результатов хозяйственной деятельности на природу и здоровье человека.

Охрана окружающей среды концентрирует свое внимание прежде всего на потребностях самого человека. Это комплекс самых различных мероприятий (административно-хозяйственных, технологических, юридических, общественных и пр.), направленных на

обеспечение функционирования природных систем, необходимых для сохранения здоровья и благосостояния человека.

**Природопользование** направлено на удовлетворение различных потребностей человека путем рационального использования природных ресурсов и природных условий. Задачи природопользования сводятся к разработке общих принципов осуществления всякой деятельности человека, связанной либо с непосредственным использованием природой и ее ресурсами, либо с изменяющими воздействиями на нее. Рациональное природопользование предполагает обеспечение экономной эксплуатации природных ресурсов и условий с учетом перспективных интересов будущих поколений людей. Нерациональное природопользование ведет к ухудшению природной среды и не обеспечивает сохранения природно-ресурсного потенциала.

Охрана природы, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов – общечеловеческая задача, участвовать в решении которой должен каждый живущий на планете.

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ**

В настоящее время для Беларуси наиболее актуальна экологическая проблема, связанная с использованием атомной энергии (загрязнение окружающей среды радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС). Другие важные экологические проблемы республики можно свести к следующим:

- негативное влияние на природную среду хозяйственной деятельности человека: а) промышленные выбросы, загрязняющие воздух и водную среду; б) вырубка лесов, ведущая к понижению уровня грунтовых вод, разрушению природных ландшафтов; в) мелиорация, провоцирующая эрозию почв; г) чрезмерное использование органических и минеральных удобрений в сельском хозяйстве и как следствие – загрязнение почв и воды;
- ограниченность и истощаемость природных ресурсов;
- отсутствие средств для финансирования природоохранных мероприятий;
- отсутствие утилизации бытового мусора;
- стремительный рост парка автомобилей, сопровождающийся увеличением количества вредных выбросов в атмосферу;



- увеличение объемов горных работ, которые разрушительно действуют на верхнюю часть земной коры и на земную поверхность, на подземные водоносные горизонты, стимулируют химическое загрязнение среды (глобальная экологическая проблема);
- расширение инженерных мероприятий, которые приводят к многочисленным геологическим явлениям, подчас катастрофическим, а иногда нарушают динамическое равновесие блоков земной коры, вызывая движение земной поверхности и сейсмическую активность (глобальная экологическая проблема).

В основу большинства отечественных технологий заложены затратные принципы развития энергетики, промышленности и сельского хозяйства. Тем самым на протяжении десятилетий практически не решались многие проблемы охраны природы: очистка высокотоксичных промышленных стоков, дымовых выбросов и т. д. В результате либо населенные пункты, промышленные и крупные животноводческие комплексы вовсе не имеют очистных сооружений, либо последние неэффективны.

Огромный ущерб несет растительному и животному миру загрязнение природных вод, в том числе источников питьевого водоснабжения, из-за неразумного использования химических удобрений и ядохимикатов, которое особенно возросло в последние три десятилетия. Так, в Беларуси их потребление в период с 1960 по 1987 г. увеличилось в 20–25 раз! Применение калийных удобрений возросло с 121 до 846 тыс. т, неорганических азотных – с 31 до 734 тыс. т (с 4 до 92 кг/га). Как следствие, на большей части территории республики из-за нитратного загрязнения выведено из строя большинство колодцев. Нитратное загрязнение грунтовых вод зафиксировано на большей части находящейся под сельхозугодьями территории республики (а это почти 8 млн га). Оно превышает в 2–15 раз предельно допустимые нормы, а в отдельных случаях уже достигло глубин 20–40 м.

Потребление продуктов и воды с повышенными концентрациями нитратов (предельно допустимые концентрации не превышают 45 мг/л) разрушающе действует на сердечно-сосудистую и иммунную системы, вызывает тяжелую болезнь крови – гемоглобинемию. В районах интенсивного применения ядохимикатов высока детская смертность, отмечаются грубые изменения генетического аппарата, что ведет к появлению вредных мутаций и уродств.

Давно замечено, что после достижения некоторого оптимального уровня увеличение доз удобрений не дает ожидаемого прироста урожаев и что выращенные с помощью химического допинга зерновые, плоды и овощи становятся опасными для здоровья людей из-за высокого содержания в них нитратов, солей тяжелых металлов и ядохимикатов. Поэтому в США значительная часть фермерских хозяйств отказалась от применения ядохимикатов, а борьбу с вредителями и сорняками проводят с помощью биологических методов.

Развитие человечества очень дорого обходится самому человеку и природе. Возьмем, к примеру, энергетику. Вполне понятно, что без энергии человек не может долго существовать, поэтому производство энергии всегда было одной из самых приоритетных задач, определяющих благосостояние нации. Вспомним хрестоматийный пример с планом ГОЭЛРО и лозунгом: «Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны». И в то время все искренне верили (а некоторые верят и по сей день), что строительство гидроэлектростанций наиболее безопасно для окружающей среды. При этом себестоимость вырабатываемой с их помощью электроэнергии умудрялись оценивать как наиболее низкую. На поверку оказалось, что строительство и эксплуатация крупных гидроэлектростанций на равнинных реках наносит огромный вред природе, а стоимость получаемой с их помощью электроэнергии в сотни и тысячи раз превышает официальные данные. В огромных водохранилищах устанавливается слабoproточный, губительный для рек и всего живого застойный режим. Пропадает рыба, а сами водохранилища превращаются в гигантские и разрушительные для природы очаги загрязнения. Только на территории бывшего СССР таким вот образом под водой погребено 2600 сел и 165 городов.

Десятки белорусских деревень постигла бы та же участь, не выступи ученые и широкая общественность против энтузиастов гидроэнергетики, пытавшихся создать огромное водохранилище на Западной Двине выше Даугавпилса.

Загрязнение почв, воздуха и природных вод в наше время приобрело настолько широкие масштабы, что стало реальной угрозой всему живому. Низшие растительные и животные организмы составляют начальные звенья биологических цепей и цепей питания. Они отличаются чрезвычайно высокими уровнями накопления тяжелых металлов, ядохимикатов, разнообразных токсических веществ. У высокоорганизованных животных и у

человека эти токсиканты оказывают жесткое кумулятивное воздействие на генетический аппарат и нервную систему. О том, насколько разрушительно подобное воздействие на высшую нервную деятельность, мозговое кровообращение и опосредованно на систему пространственного ориентирования млекопитающих, свидетельствуют все учащающиеся случаи гибели китов-лоцманов, целыми группами выбрасывающихся на береговые отмели. В условиях массированного отравления природных вод и всей среды обитания не ожидает ли подобная участь все человечество?

Теперь остановимся на атомной энергетике. В соответствии с Декларацией о независимости Республика Беларусь является безъядерным государством, то есть не имеет и не планирует иметь собственных ядерных вооружений, не имеет ядерной энергетики. Причины понятны – Беларусь в мировом сообществе представляет государство, наиболее пострадавшее от катастрофы на Чернобыльской АЭС. Около четверти республики оказалось загрязненной радионуклидами. На этой территории проживают почти 2 млн человек, которые подвергаются канцерогенной и мутагенной опасности. Здесь сложно, а подчас и невозможно получить соответствующую международным нормам сельскохозяйственную продукцию.

Кроме того, практически у всех жителей республики имеет место радиофобия в связи с питанием загрязненными продуктами. Все эти факторы заставили прекратить строительство ядерной электростанции под Минском, а также принять статус безъядерного государства. Казалось бы, обеспокоенность населения в ближайшем и отдаленном будущем должна быть значительно уменьшена. Однако нельзя сбрасывать со счетов, что Беларусь находится в кольце атомных станций, среди которых, кроме печально известной Чернобыльской (ближайшее расстояние до границы Беларуси – 12 км), Игналинская АЭС (Литва; ближайшее расстояние – 4 км), Смоленская АЭС (Россия; 80 км), Ровенская АЭС (Украина; 70 км).

Таким образом, жители Беларуси ничем не застрахованы, случись на какой-то из этих станций авария вроде Чернобыльской. В то же время сейчас остро ставится вопрос о якобы имеющемся недостатке энергетических ресурсов и в связи с этим приводятся доводы в пользу развития ядерной энергетики. Вопрос этот спорный. Действительно, дефицит энергии имеется. Однако нелишне разобраться, как мы используем энергию при

дефиците ее выработки. Исторически сложилось, что к электроэнергии у нас относились, как к чему-то почти бесплатному. Энергоемкость нашей промышленности в 2,3 раза выше, чем в развитых странах, а в ряде производств энергозатраты достигают 70 % стоимости продукции. Не ведется борьба за экономию электроэнергии в быту, на транспорте, при освещении городов и населенных пунктов. А ведь даже в таких богатых странах, как Германия, Франция и США, борьба за экономию и рациональное использование электроэнергии возведена в ранг национальных программ и носит постоянный и очень активный характер.

Дополнительным доводом в пользу развития ядерной энергетики в республике является уменьшение зависимости от других государств. Но ведь у нас нет своего ядерного топлива, как нет и условий для захоронения и переработки ядерных отходов. К тому же с течением времени сама АЭС морально устаревает, а цены на топливо увеличиваются. Поэтому вполне очевидно, что развитие атомной энергетики не может решить энергетической проблемы в республике. У нас нет иного выхода, как только развивать и модернизировать производство электроэнергии с использованием традиционных энергоносителей — газа и нефтепродуктов на основе действующих электростанций и нефтеперерабатывающих предприятий.

В то же время возникает вопрос о структуре энергетики, а если конкретно — об источниках получения электроэнергии и мощности ее производителей. В последние годы в мире активно обсуждается и прорабатывается возможность получения энергии от нетрадиционных источников, как правило, относительно небольшой мощности. К концу 60-х годов в Беларуси действовало 180 малых ГЭС общей мощностью 21 тыс. кВт. В настоящее время их осталось только шесть. Ветроэнергетические ресурсы практически не используются, хотя, по подсчетам специалистов, они достаточно велики. Абсолютно не используются геотермальные ресурсы, солнечная энергия, твердые бытовые отходы и отходы животноводческих комплексов. По подсчетам энергетиков, такие источники в Беларуси могут дать в год порядка 200–540 тыс. т условного топлива, что составляет 0,5–1,0 % от общей потребности. Имеются, однако, убедительные данные, что указанная цифра может быть увеличена в 5–10 или более раз. Здесь может быть уместен пример Западной Германии, имеющей сходные с нашей республикой климатические условия. Там за четыре года (1990–1993) были изготовлены и установлены ветроагрегаты общей мощностью 470 МВт, что равноценно одному блоку АЭС.

Но дело не только в этом. Так называемые нетрадиционные источники получения энергии являются экологически чистыми. Взятый в прошлом курс на получение электроэнергии от крупных энергогигантов привел к тому, что огромные территории оказались занятыми под большими и малыми линиями электропередач и таким образом исключены из сельскохозяйственного производства. Такие территории являются источником распространения сорняков и вредителей сельского хозяйства. Относительно маломощные, работающие на нетрадиционных источниках энергии электростанции могут дать огромный экономический эффект в сельском хозяйстве, где потребители энергии диффузно распределены на большой территории.

Таким образом, решение энергетических проблем в Республике Беларусь, очевидно, состоит не в создании собственной атомной энергетики, а в модернизации морально устаревших энергоемких производств, экономии топлива, развитии сети малых электростанций на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии. Последнее особенно важно при решении вопросов охраны окружающей среды и рационального использования материальных ресурсов.

## **ОХРАНА ФЛОРЫ И ФАУНЫ. КРАСНАЯ КНИГА БЕЛАРУСИ**

Развитие человечества проходило под знаком постоянной войны с природой. Казалось, в ее лице человек обрел извечного недруга. И все мероприятия, связанные с окультуриванием природной среды, называли не иначе как «завоевание» и «борьба». Похоже, эта война приближается к концу, к трагической развязке. Что же приобрел человек в результате своих «побед»?

В 1884 г. французские ботаники, исследовав флору г. Парижа, насчитали 209 видов. Ученые забили тревогу, потому что с территории города исчезли многие виды, зарегистрированные ботаником Ж. Турнефором в 1698 г. Что же говорить о днях теперешних! Экологи, изучающие современную флору Франции, при обследовании центра Парижа отметили всего 90 видов, причем самыми распространенными растениями являлись мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis*), подорожник большой (*Plantago major*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris*) и мятлик однолетний (*Poa annua*) (Duhamel, 1991). Таким образом, ботаники недосчитались

119 видов растений, которые произрастали на территории города в прошлом веке.

За очень короткое в геологическом масштабе время человечество вырубил, сожгло, распахало, застроило и уничтожило более двух третей площадей лесов, которые покрывали планету в момент появления на ней человека. Сейчас под лесами занято 28 % суши, в начале же деятельности человека более 75 % площади земного шара покрывала лесная растительность. Человек начал уничтожать зеленый покров каменным топором, примитивными орудиями и огнем. И сейчас топор и пила, только модернизированная, являются главными орудиями лесорубов. За один только год население бывшего Советского Союза сжигало около 1 млн м<sup>3</sup> древесины в виде спичек. (Для сравнения: патриарх Беловежской пуши – семисотлетний дуб «вмещает» в себя только 34 м<sup>3</sup>. Следовательно, за год спичечная промышленность перерабатывала 30 тыс. таких деревьев.)

Леса покрывали почти всю территорию нынешней Беларуси, за исключением отдельных болот и участков в поймах крупных рек. Здесь водилось бесчисленное множество самых разнообразных зверей и птиц. Полноводные реки были богаты рыбой. Даже такая редкость мира животных, как могучий зубр, именно у нас, на Беларуси, естественно вписывался в природное окружение.

Изменения растительности, вызванные человеком, вначале были невелики, так как нарушенные леса восстанавливали свой первоначальный облик. Можно считать, что так продолжалось до конца XV – начала XVI в., когда через территорию Беларуси потянулись оживленные торговые пути. С тех пор влияние деятельности человека на развитие и состояние лесной растительности постепенно усиливалось, а к началу XIX в., когда ценность леса как источника древесины резко возросла, распространилось почти на все лесные массивы. Особенно пострадали ценные пойменные леса, большая часть которых исчезла и уже не подлежит восстановлению.

Самые существенные и заметные изменения в природном комплексе Беларуси произошли в результате сельскохозяйственного освоения земель. Практически все естественные экосистемы сменились искусственными биоценозами, созданными человеком. Это так называемые агробиоценозы, сады, огороды и т. п. В большей степени изменились наши белорусские леса. Облесенность территории в настоящее время составляет лишь 34,5 %, в то время как в прошлом эта величина достигала 90–100 %. Не

обошли Беларусь и последствия «разумной» деятельности человека. Часть растений безвозвратно исчезла из нашей флоры. Это адонис весенний, рябчик русский, тиллея водная, кальдезия бело-зоролистная и др.

За четыре столетия с территории нынешней Беларуси исчезли более 20 ценных видов животных: тур, тарпан, соболь, песец, росомаха, лань, стрепет, дрофа и др. В последние 50–60 лет в реки Беларуси в связи с обмелением и зарегулированием стока плотинами не заходят белуга, русский и балтийский осетры, рыбец, вырезуб, лосось, кумжа и др.

Итак, всего лишь два-три столетия понадобилось «человеку разумному», чтобы довести природу до грани истощения. Пришло время серьезно проанализировать современное состояние растительного и животного мира планеты.

Ученые подсчитали, что почти десятая часть высших растений мира находится под угрозой исчезновения. К настоящему времени из 250 тыс. видов высших растений, обитающих на Земле, под угрозой исчезновения находится до 25 тыс. В недалеком будущем до 30 % дикорастущей флоры планеты может погибнуть. Если не принять соответствующих мер, наши дети и внуки, повзрослев, уже не увидят красочно цветущих лугов и тенистых зеленых лесов. Да и в букет они смогут собрать не те прекрасные травы, которыми мы восхищаемся сегодня, а разве что одуванчики и чертополохи. А для того чтобы такие меры были приняты, необходимо выявить и всесторонне изучить виды, которым угрожает опасность исчезновения.

Страдает не только растительность планеты, но и животный мир. За последние три столетия на Земле полностью истреблено 280 видов птиц и млекопитающих, а 450 видам непосредственно грозит уничтожение. Массовое истребление животных приняло невиданные масштабы. В густонаселенных странах для диких животных в буквальном смысле не остается места. Стоит привести слова известного журналиста Василия Пескова: «Если процессу разграбления природы не будет быстро поставлена преграда, очнуться можем в пустыне».

В 1948 г. группа ученых и общественные организации разных стран, объединившись, создали Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП). Задача Союза – содействие сохранению и разумному использованию широких природных богатств. В настоящее время более ста государств принимают участие в этой организации.

Прежде всего Союз организовал ревизию (учет) всех редких животных и растений, которым угрожает исчезновение с лица Земли. Так появились пять томов с перечнем видов, которые могли бы навсегда исчезнуть. Первое издание Красной книги вышло в 1966 г. У истоков ее создания стоял сын известного исследователя Южного полюса Роберта Скотта – английский профессор Питер Скотт. Одновременно составлялся так называемый «черный список», куда вошли животные и растения, исчезнувшие безвозвратно.

Все страницы этого издания были окрашены в красный цвет. Отсюда и название книги – «Красная». Красный цвет всегда был цветом опасности. Таким образом ученые-составители пытались привлечь внимание общественности к той угрозе, которая нависла над живым населением Земли. С того времени аналогичные Красные книги начали выходить во многих странах мира, хотя красным в них остался лишь переплет. Сведения, представленные в Красной книге, являются не только сводом данных о состоянии видов животных и растений, но и руководством по их спасению, сохранению и приумножению для будущих поколений. Красная книга содержит данные о численности, биологии видов, а также краткие сведения о принятых и необходимых мерах охраны того или иного животного или растения. Занесение любого вида в Красную книгу означает, что он нуждается в охране.

По мере поступления новых сведений листы Красной книги обновляются и заменяются. Если вид устойчиво восстанавливает свою численность и угроза его исчезновения миновала, он может быть вычеркнут из Красной книги.

У зоологов уже имеются некоторые успехи в деле спасения исчезающих видов. Серьезные меры охраны, принятые для восстановления численности зубра, привели к тому, что поголовье этих редчайших животных значительно возросло. И теперь зубра можно увидеть не только в Беловежской пуще, но и в Березинском биосферном заповеднике и его окрестностях. Там же, в тихих заводях Березины, значительно возросла численность такого редкого и ценного млекопитающего, как бобр. Нередко выходит к окраине леса красавец лось, пробежит стая диких кабанов, тяжело протопает бурый медведь.

Начиная с середины апреля просыпаются в белорусских лесах первые хрупкие весенние цветы. И тут же появляются любители собирать их в большие букеты. На улицах крупных городов появляются торговцы первоцветами. Никто из них не думает о том,



что из года в год все меньше и меньше первоцветов распускает свои нежные цветки. И может наступить время, когда они вовсе исчезнут. В Беларуси сейчас насчитывается свыше 1600 видов высших растений, а около 70 видов за последние 100 лет исчезли с ее территории.

Первое издание Красной книги Беларуси было предпринято в 1981 г. В то время на ее страницы попало 80 видов животных и 85 редких и исчезающих видов растений. Второе издание Красной книги вышло в 1993 г. В нее включено уже 182 вида животных, 180 – растений, 17 – грибов и 17 видов лишайников. Все виды животных и растений, попавшие на страницы Красной книги, сгруппированы по разделам: млекопитающие, птицы, рептилии, амфибии, рыбы, насекомые, двустворчатые моллюски, ракообразные, плаунообразные, хвощеобразные, папоротникообразные, голосеменные, покрытосеменные, мохообразные, водоросли, лишайники, а также грибы. Каждый вид охарактеризован с точки зрения его статуса, то есть категории охраны. Таких категорий пять.

*I категория* – виды находятся под угрозой исчезновения, их спасение невозможно без принятия специальных мер охраны. Среди животных, попавших в эту категорию охраны, такие виды, как выхухоль, дрофа, обыкновенная жемчужница. Из растений этой категории можно указать большой хвощ, чистостел величавый, или королевский папоротник, пихту белую с единственным местопроизрастанием в Беловежской пуше, волчник боровой, первоцвет высокий, венерин башмачок, из грибов – трюфель летний.

Ко *II категории* охраны относятся виды, численность которых пока относительно высока, но катастрофически быстро сокращается. Такое уменьшение численности может поставить под угрозу существование целого ряда растений. К редким видам животных этой категории относятся беловежский зубр, красный коршун, беркут, филин, стерлядь, ручьевая форель, широкопалый рак. Из представителей растительного мира в эту категорию охраны попали баранец обыкновенный, полушник озерный, кувшинка белая, купальница европейская, медвежий лук, из грибов – дождевик гигантский.

*III категория* включает редкие виды, которым пока не грозит исчезновение, но они встречаются в очень небольшом количестве и на ограниченных территориях. Из животных, относящихся к данной категории, можно отметить бурого медведя, барсука, черного аиста, лебедя-шипуна, степного луня, болотную черепаху, медянку, камышовую жабу, обыкновенного хариуса и пред-

ставителя беспозвоночных из отряда бокоплавов – понтопорею. Среди растений отметим водный папоротник сальвинию плавающую, кубышку малую, ветреницу лесную, березу карликовую, водяной орех, плющ обыкновенный, касатик сибирский, рододендрон желтый.

*IV категория* включает виды с плохо изученной биологией, что не позволяет отнести их к какой-то категории, численность и состояние которых вызывает тревогу. В группу животных здесь попали большая выпь, серый журавль, сом, черный аполлон, махаон, жук-олень, в группу растений – фиалка топяная, лилия кудреватая, борщевик обыкновенный.

К *V категории* охраны относятся виды, которые восстановили свою численность благодаря принятым мерам охраны, но промысловому использованию еще не подлежат. В растительном мире Беларуси такие виды не выделены. Из животных в данную категорию попали представители рыб – сипуха, вьюрок.

Выход в свет Красной книги Беларуси не означает, что уже приняты действенные меры охраны. Сведения, содержащиеся в ней, – это только ориентир на охрану включенных в нее видов. Насущной проблемой становится проведение конкретных мероприятий, чтобы обеспечить их практическую охрану. Красная книга является основным научным документом, где определено современное состояние редких и исчезающих видов растений и животных, которые находятся под угрозой исчезновения. На основе этого документа проводится прогнозирование развития растительного и животного мира Беларуси и разработка практических мер по его охране. Выход в свет Красной книги – это лишь постановка задачи. И от нас с вами зависит, как эта задача будет решаться.

## ЗАПОВЕДНЫЕ И ДРУГИЕ ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ

Наиболее совершенной формой охраны живой природы является заповедный режим. Организация заповедных территорий в настоящее время – это наиболее совершенный и надежный способ сохранения тех остатков могущественной некогда Природы, которым угрожает исчезновение по вине человека. Поэтому деятельность естествоиспытателей большинства стран направлена на расширение географической сети заповедных территорий и увеличение их площади.

Главная проблема охраны природы – это не защита отдельных видов растений или животных, а сохранение в биосфере достаточно обширной сети центров генетического разнообразия для обеспечения нормального развития широкого диапазона эволюционных процессов.

Идея сохранения уголков нетронутой природы с целью сбережения природных ресурсов возникла не в наше время. Сохранились сведения, что еще до нашей эры правители некоторых развитых государств принимали природоохранные законы. Имеется свидетельство, что индийский император Ашок в 242 г. до н. э. издавал указы об охране лесных массивов и охотничьей фауны.

В XVI в. в окрестностях Киева был расположен так называемый «Красный двор», вокруг которого охранялись лесные охотничьи угодья. Исторически сложилось так, что возникновение первых заповедных территорий было напрямую связано с утилитарным, потребительским подходом к окружающей природе. Именно поэтому на Руси первые заповедные участки возникли в местах поселения ценных для человека видов животных, таких как бобры, туры, или редких – зубров, антилоп, страусов, кенгуру (заповедник Аскания-Нова).

Одним из самых старых заповедников Европы является знаменитая Беловежская пушча. Охрана ее природных богатств велась с начала XI ст. Лесные массивы, помогающие населению отдельных стран и районов в отражении захватнических действий многочисленных противников, также усиленно охранялись. Эти лесные массивы назывались «засеками». Могучие деревья на определенной площади подрубались (засекались) выше человеческого роста в сторону предполагаемого противника и становились естественной защитой при нападении врага. Такие засеки создавались на южных границах Московского государства (тульские и др.). На Днепре для защиты от нападения крымских татар специальным указом от 1765 г. были взяты под охрану леса острова Монастырский.

Таким образом, несмотря на расточительное отношение к природе, человек все же был вынужден прибегать к природоохранным мероприятиям. Однако никакого научного подхода при отведении природных территорий для охраны вплоть до XIX в. не существовало. Первым из естествоиспытателей, кто отметил необходимость целевой охраны природных компонентов, был известный путешественник и географ А. Гумбольдт. Во

время путешествия по Венесуэле в 1799–1804 гг. он предложил термин «памятник природы» для охраны группы вековых деревьев из семейства мимозовых и позже ввел это понятие в научную литературу.

К середине XIX в. необходимость организации крупных природоохранных территорий для сохранения неповторимых природных ландшафтов стала очевидна для многих естествоиспытателей. Природоохранное движение набирало силу, и следствием этого стала разработка концепции национального парка – особой обширной территории, которая включает охраняемые природные ландшафты, не затронутые человеческой деятельностью. Главное назначение национального парка наряду с сохранением природных комплексов в неприкосновенности – это рекреационная деятельность (отдых человека на лоне природы).

Первый в мире национальный парк был создан в США в 1872 г. Это Йеллоустонский национальный парк. Он занимает площадь 898 тыс. га и располагается в зоне хвойных лесов. На его территории находится около 3000 гейзеров и горячих источников. Идею создания национальных парков подхватили Мексика (национальные парки Дезирто де Лос Леоне – 1876 г. и Эль Чико – 1898 г.) и Канада (национальные парки Глейшерский – 1886 г. и Банфский – 1887 г.). В Европе первые национальные парки были организованы в Швеции (Сарек, Стора Сейфаллет и Пелекайсе).

В 1913 г. в Швейцарии состоялась конференция по проблеме международной охраны природы. На ней впервые была обоснована необходимость организации в различных природных зонах крупных заповедников, в которых охранялись бы основные компоненты биоценоза – животный и растительный мир. Одновременно с этим высказывались идеи о международном сотрудничестве в природоохранном деле. Природа не знает границ, искусственно возведенных человеком. Как известно, Амазония раскинулась на южноамериканском континенте на территории нескольких государств. Разрозненные усилия каждого из них по сохранению уникальной экосистемы тропического дождевого леса принесут мало пользы. Только кооперативные действия по охране лесов в бассейне Амазонки могут дать действенные плоды.

Первый в России заповедник был создан на острове Вайка в Эстонии в 1910 г. В 1912 г. по инициативе известного ботаника К. Купфера в Западной Латвии, на острове Морисчала, был учрежден резерват, имевший статус заповедника. Несколько позже, в 1916 г., основаны заповедники Баргузинский – на побережье

озера Байкал и Кедровая Падь – в Приморском крае. В 1987 г. в СССР было создано 156 заповедников и заповедно-охотничьих хозяйств. На земном шаре сейчас насчитывается свыше 20 тыс. заповедных объектов различных типов.

В настоящее время общепринятой классификации заповедных объектов живой и неживой природы не существует. Под системой охраняемых территорий понимается совокупность экологически взаимосвязанных природных объектов, выполняющих важнейшие средо-, ресурсо- и информационно-охранные функции. Такие территории исключаются из традиционного хозяйственного использования (рубка леса, распашка, осушение, орошение и т. п.). В опубликованной «Мировой стратегии охраны природы» (1978) говорится, что в настоящее время почти каждый природный объект – большинство видов растений и животных (или хотя бы отдельные их популяции в разных частях ареалов), биоценозов, экосистем и ландшафтов – нуждается в той или иной степени охраны. Однако реально организовать действенную охрану природных объектов можно лишь для ограниченного их числа, поэтому необходимо сосредоточить усилия хотя бы на самых важных.

Выделяется несколько видов заповедных объектов, подлежащих охране.

1. **Заповедники** – особо охраняемые пространства, полностью исключенные из любой хозяйственной деятельности ради сохранения в нетронутом виде природных комплексов, а также охраны редких и исчезающих видов растений и животных. Предназначены для сохранения в естественном состоянии типичных ландшафтов и экосистем. Подчинены строгому режиму охраны, который запрещает всякую деятельность человека, не связанную с задачами заповедника.

2. **Национальные парки** – обширные участки территории, включающие охраняемые природные ландшафты, выделенные для охраны природы в оздоровительных, эстетических, научных и культурно-просветительских целях. В пределах национального парка выделяют зоны заповедного режима, умеренного (щадящего) хозяйственного и рекреационного использования и интенсивного хозяйственного и рекреационного использования. В настоящее время в мире организовано более 2 300 национальных парков, в Европе – более 160. Мировая площадь всех национальных парков – более 4 млн км<sup>2</sup>. Основные задачи заповедников и национальных парков – сохранение природных экосистем, под-

держание экологического разнообразия природной среды, сохранение природного генофонда животных и растений, сохранение живописных уголков природы и объектов культурного наследия.

**3. Резерваты природы** – природные охраняемые территории с заповедным или заказным режимом. Резерваты обычно невелики по площади и создаются с целью охраны зонально или азонально встречающихся редких растительных группировок и биотопов животных. Особенно много резерватов создано в островных экосистемах, где флора и фауна особо легко уязвимы. В Новой Зеландии, например, создано около 1300 природных резерватов, в которых охраняются не только отдельные виды птиц, растений, но и водопады, пещеры и т. п.

**4. Памятники природы** – природные достопримечательности, имеющие научное или культурно-эстетическое значение, а также объекты природы, связанные с какими-либо историческими событиями или лицами. Обычно это охраняемые территории небольшого размера – памятные, исторически ценные или вековые деревья, водопады, пещеры, геологические обнажения, ледниковые валуны, отдельные водоемы, места исторических событий, старинные аллеи и парки и т. п.

Кроме этих категорий охраняемых объектов, вокруг городов и санаторно-курортных комплексов создаются специальные зеленые зоны и выделяются курортные леса. Не подлежат рубке лесные массивы у истоков и по берегам водоемов – водоохранные леса.

**5. Заказники природы** – участки природной территории, где временно или постоянно запрещены отдельные формы хозяйственной деятельности человека. Представляют интерес в научном, познавательно-воспитательном и культурном отношении. Организация заказников – это целевая форма охраны природных компонентов. В них охраняются отдельные компоненты природных экосистем, один или многие виды живых существ, ценные объекты живой природы или живописные типы ландшафта. Обычно заказники организуются для увеличения численности диких животных в природных условиях и для восстановления ресурсов ценных растений – лекарственных, эфиромасличных, декоративных и др. В заказниках устанавливается частичный режим охраны и допускается деятельность человека, не наносящая ущерба объектам охраны. Заказники могут быть различного назначения: комплексные, ботанические, зоологические, гидрологические, геологические, озерные, ландшафтные, охотничьи, мемориальные и иные.

6. **Ландшафтные парки** – искусственно созданные или окультуренные охраняемые антропогенные ландшафты, отличающиеся природными достопримечательностями и высокой эстетичностью. Территория ландшафтного парка обычно имеет благоприятные климатические условия, ценные для оздоровления, отдыха, туризма, и чаще всего используется в рекреационных целях.

## **БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ**

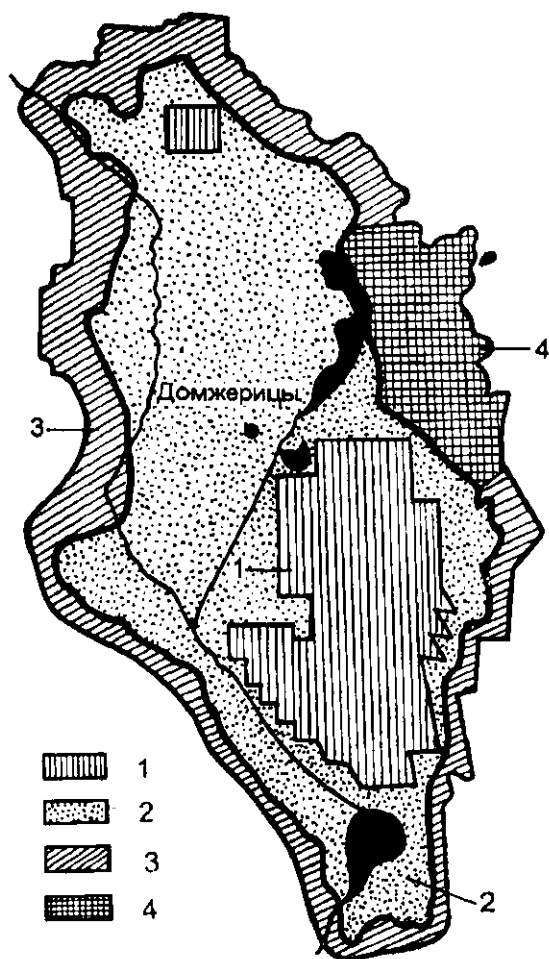
В 1970 г. на XVI сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры) была принята международная программа «Человек и биосфера» – МАБ («Man and Biosphere»). Эта программа утверждена в связи с возрастающим воздействием человека на окружающую природную среду и призвана обеспечить на основе комплексных фундаментальных исследований получение данных, необходимых для рационального использования природных ресурсов и управления процессами, протекающими в биосфере. В рамках этой программы создана сеть охраняемых природных территорий, называемых биосферными заповедниками.

**Биосферные заповедники** – это охраняемые, наиболее характерные эталонные участки биосферы, созданные в различных географических зонах Земли. Считается, что территория биосферного заповедника практически не испытывает локальных воздействий преобразованных человеком окружающих ландшафтов. Главное предназначение биосферных заповедников – сохранение в естественном виде природных экосистем и их генофонда, а также постоянный и всесторонний контроль за состоянием и ходом различных изменений, протекающих в биосфере (экологический мониторинг).

Основные задачи биосферных заповедников заключаются в сохранении разнообразия и целостности сообществ растений и животных в пределах природных экосистем, генетического разнообразия генофонда, проведении долгосрочных научных исследований в измененных и приближенных к естественным условиям.

Любой биосферный заповедник должен отвечать следующим основным требованиям:

- быть типичным эталоном данной природной зоны;
- обязательно иметь на своей территории редкие виды растений и животных или уникальные комплексы;



**Рис. 76.** Схема зонирования Березинского биосферного заповедника:  
 1 – абсолютно заповедная зона (ядро); 2 – буферная зона; 3 – охранный хозяйств  
 4 – охотничье хозяйство



- представлять пример гармонического развития природы при исторически сложившемся традиционном хозяйственном использовании данной территории;
- иметь эффективную охрану территории и прочную базу для проведения долгосрочных научных исследований;
- представлять эталон (нулевую точку, точку отсчета) для оценки изменений, протекающих в биосфере.

Все биосферные заповедники мира проектируются по единой принципиальной схеме, обязательной для всех заповедников такого ранга. Модель биосферного заповедника включает три зоны (рис. 76).

В центре — *ядро* заповедника, в котором охраняется биологическое разнообразие животных и растений. Здесь эволюция растительных и животных видов может происходить по возможности естественным способом. Это абсолютно заповедная территория, где запрещаются все виды хозяйственной деятельности и обеспечивается естественное развитие природных процессов. Всякое вмешательство человека, кроме проведения научных исследований, запрещено.

Вокруг ядра формируется более широкая *буферная*, или научно управляемая, зона. В этой охраняемой зоне частично разрешены те виды деятельности, которые совместимы с развитием устойчивых природных экосистем. Здесь ведется наблюдение за структурой и функционированием экосистемы, когда она подвергается различным видам антропогенного воздействия и использования. Чаще всего эта зона совпадает с границами заповедника.

За буферной идет *охранная*, или переходная, зона для снижения негативного влияния прилегающих хозяйственных территорий на природные комплексы заповедника. Режим ведения хозяйства в буферной зоне согласуется с администрацией заповедника.

Первые биосферные заповедники были организованы во второй половине семидесятых годов. К 1984 г. их число в 58 странах мира составляло 226, к 1985 г. их стало 243 (60 стран), а к 1995 г. — 325 (82 страны мира). Как видно, число абсолютно заповедных участков на Земле постоянно растет.

## ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В Беларуси проблемы охраны природной среды стали подниматься только в 20-е годы нашего столетия. 30 января 1925 г. в 100 км севернее г. Минска в верхнем течении реки Березина был создан Березинский государственный заповедник. Это была пер-

вая официально утвержденная заповедная территория Беларуси. В месте размещения заповедника, где протекает Березина со многими ее притоками, сохранились труднодоступные лесные и болотные массивы с естественными популяциями лося, медведя, бобра, выдры, европейской норки и других животных. Это одно из немногих мест в Европе, где сохранились естественные массивы черноольхово-ясеновых лесов и обширных болот.

Природоохранная деятельность 20–30-х годов проводилась в основном на базе опытных лесных станций – Жорновской, Горечкой, Велятичской, которые в 1926 г. были объединены в Центральную лесную опытную станцию. В 1939 г., после воссоединения с Западной Беларусью, государственным заповедником была объявлена белорусская часть Беловежской пуши. В 1991 г. на базе Государственного заповедно-охотничьего хозяйства Беловежская пуша создан первый белорусский национальный парк с одноименным названием. «Беловежская пуша» характеризуется наибольшим богатством видового состава сосудистых растений (885 видов).

В 1969 г. был организован Припятский ландшафтно-гидрологический заповедник площадью 60,3 тыс. га. Он расположен на землях древнего Туровского княжества и объединяет сохранившиеся полесские болота и естественную пойму реки Припять – главной водной артерии Беларуси. Болотные сообщества (верховые, переходные и низинные) представляют собой остатки крупнейшего болотного комплекса Европы, значительно сократившего свою площадь в связи с интенсивными мелиоративными работами, начавшимися в 60-х годах. В заповеднике сохранились уникальные крупные массивы пойменных дубрав, единственные во всей Европе. Природные комплексы заповедника являются наиболее сохранившейся в естественном состоянии пойменной экосистемой.

На просторах Припятского заповедника обитают множество водоплавающих птиц, белые и черные аисты, серые цапли. Нередки здесь выдра, бобр, енот-полоскун, ондатра. В осоковых болотах встречаются популяции редкого гнездящегося вида – вертялвой камышовки. По оценкам ученых Института зоологии НАН Беларуси, около половины мировой популяции вертялвой камышовки обитает в Белорусском Полесье. В 1997 г. на базе Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника организован национальный парк «Припятский».

В 1979 г. Березинский заповедник в числе первых в бывшем СССР получил статус биосферного и включен в мировую сеть биосферных заповедников. На базе Березинского заповедника в 1983 г. был проведен I Международный конгресс по биосферным заповедникам.

В 1995 г. вслед за национальным парком «Беловежская пушча» был создан национальный парк «Браславские озера», расположенный на севере Беларуси на Браславской возвышенности. Территория национального парка представляет собой своеобразный природный комплекс с неповторимым сочетанием гряд, холмов, озер, заболоченных низин и речных долин. Все это привлекает сюда многочисленных туристов и любителей путешествий.

В 1999 г. с целью охраны уникальных ландшафтов вокруг жемчужины Беларуси – озера Нарочь создан национальный парк «Нарочанский».

В настоящее время разработаны обоснования по созданию еще нескольких национальных парков: «Белая Русь», «Налибокский», «Свислочно-Березинский», «Суражский» и др. Кроме заповедников и национальных парков, имеются также заказники и памятники природы.

Таким образом, на территории Беларуси в настоящее время действуют 2 государственных заповедника (Березинский биосферный и Полесский радиационно-экологический), 4 национальных парка («Беловежская пушча», «Браславские озера», «Припятский», «Нарочанский»), а также 86 заказников. Общая охраняемая площадь составляет 1796,7 тыс. га (7,9 %).

## МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изменения в окружающей среде всегда привлекали к себе внимание человека, прежде всего с точки зрения его хозяйственных интересов. Вспомните строки А. С. Пушкина:

Старайся наблюдать различные приметы:

Пастух и земледел в младенческие леты,

Взглянув на небеса, на западную тень,

Умеют уж предречь и ветер, и ясный день,

И майские дожди, младых полей отраду,

И мразов ранний хлад, опасный винограду.

Собиратели и охотники первобытных человеческих сообществ учились, по-видимому, наблюдать и предсказывать появление ближайших событий в окружающей их природе: от изменений численности тех или иных видов животных и растений до солнечных затмений. И хотя едва ли в те далекие времена человек пытался оценивать результаты своего вмешательства в окружающую среду, очевидно, что уже тогда основой его успешного хозяйственного опыта служили наблюдения. Особенно это было важно для сельского хозяйства, где результаты работы больше всего зависят от погоды. Так, древнейшие цивилизации в Месопотамии и Египте в своем хозяйственном развитии не могли обходиться без регулярных наблюдений за ирригационными системами, за важнейшими изменениями окружающей среды. Со времен античности эти наблюдения все больше приобретают рациональную научную основу. В России развитие наблюдений за природными изменениями получило обоснование в трудах М. В. Ломоносова, А. И. Воейкова.

В 1650 г. царь Алексей Михайлович послал своему стольнику А. И. Матюшину грамоту, положившую начало регулярным визуальным наблюдениям за погодой в России: «Как к тебе сия наша грамота придет, и ты бы записывал, в который день и которого числа дождь будет, да отписать бы теперь о птицах, как их носит и как они летят, и что на Москве у нас делается».

Хозяйство человека сегодня – понятие глобальное. И для эффективной его организации, для оптимизации взаимоотношений человеческого общества с природой необходима объективная информация не только об изменениях природной среды в районах интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства, но и о состоянии биосферы в целом.

Прежде всего нужны сведения об общем состоянии биосферы и о возможных отклонениях, например в глобальной биопродуктивности, или о происходящих или возможных климатических изменениях. Мы все уже давно наблюдаем изменения состояния биосферы под влиянием деятельности человека. Теперь эти изменения происходят достаточно быстро и в широких масштабах. В связи с этим возникла необходимость организации регулярных наблюдений за состоянием биосферы и ее реакцией на антропогенное воздействие на разных уровнях экосистем (локальном, региональном, глобальном), экологических регионов, целых

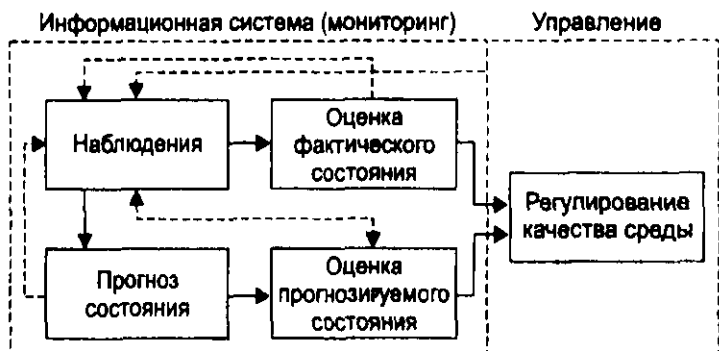


Рис. 77. Блок-схема системы мониторинга

континентов. Такая система наблюдений и называется *мониторингом* (от лат. *monitor* – напоминающий, надзирающий, проверяющий). В общем смысле мониторинг – это наблюдение, оценка и прогноз состояния окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека. В научном языке этот термин обычно понимается как «проверка, слежение, контроль».

Основная цель мониторинга – максимально раннее предупреждение нежелательных последствий антропогенного воздействия. Задачи мониторинга довольно широки. Необходимо не только просто наблюдать за изменениями в биосфере, но научиться предсказывать, прогнозировать нежелательные последствия вмешательства человека в установившееся природное равновесие. Помимо наблюдения задачами мониторинга являются также оценка состояния среды и прогнозирование ее изменений (рис. 77).

Слежение и контроль за состоянием и изменением природных экосистем предполагает наличие широко разветвленной сети объектов наблюдений, представляющих различные компоненты этих экосистем.

В зависимости от уровня, на котором проводятся мониторинговые исследования, различают три ступени мониторинга: глобальный биосферный, региональный геосистемный, или природохозяйственный, и локальный биозкологический, или санитарно-гигиенический (табл. 8).

Таблица 8. Система мониторинга окружающей среды (Герасимов, 1975)

Ступени мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели мониторинга
Биоэкологический	Приземный слой мониторинга	Предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных веществ
	Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.)
Геосистемный	Исчезающие виды животных и растений	Популяционное состояние видов
	Природные экосистемы	Их структура и нарушение
	Агроэкосистемы	Урожайность сельскохозяйственных культур
	Лесные экосистемы	Продуктивность насаждений
Биосферный	Атмосфера	Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление
	Гидросфера	Загрязнение рек и водоемов; водные бассейны, круговорот воды на континенте
	Растительный и почвенный покровы, животное население	Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные круговороты и баланс $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ и других веществ

В зависимости от масштаба и объектов наблюдения различают разные типы мониторинга:

- **биосферный** (глобальный) – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все экологические компоненты;

- **базовый (фоновый)** – слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных изменений;
- **экологический** – наблюдение за изменениями в составе и функциях экосистем различного ранга, за динамикой природных ресурсов и средообразующих компонентов;
- **биологический** – слежение за биологическими объектами;
- **комплексный** – непрерывная программа долгосрочного сбора информации о специфических экологических системах;
- **санитарно-токсикологический** – мониторинг гигиенического состояния окружающей человека среды;
- **международный** – международная система слежения за общепланетарными процессами и явлениями, включая последствия антропогенных изменений;
- **региональный** – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где они могут отличаться от природных и антропогенных характеристик базового фона;
- **национальный** – национальные (государственные) системы слежения за состоянием и изменениями окружающей среды в пределах определенной территории национального государства;
- **локальный (местный)** – мониторинг загрязнения окружающей среды, не распространяющегося на значительные территории;
- **импактный** – слежение за природными процессами и явлениями, а также за антропогенными воздействиями в особо опасных зонах и местах.

Методы и средства реализации конкретных видов мониторинга могут быть разными:

- **авиационный** – мониторинг, осуществляемый с помощью самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов;
- **космический** – слежение за состоянием биосферы Земли с помощью космических средств наблюдения;
- **дистанционный** – совокупность авиационного и космического мониторинга.

Наиболее важен для оценки состояния окружающей среды биологический мониторинг. Основной принцип его заключается в детальном учете исходного состояния биоты на определенный момент (точка отсчета) и в последующих наблюдениях за отклонениями от этого состояния. Биологический мониторинг – это

слежение за развитием живых организмов и динамикой природных экосистем при естественных экологических процессах и при их нарушениях, чаще всего антропогенного происхождения. Такая информация может быть получена только на долговременных стационарных объектах. Чтобы следить за изменениями, необходимо иметь первоначальную характеристику объекта (точку отсчета). Лучшим объектом мониторинга является биогеоценоз с его составными компонентами – фитоценозом, зооценозом, микробоценозом и экотопом. При этом наиболее чувствительной структурой, своеобразным маркером биогеоценоза, отзывчивым на любые воздействия, является растительное сообщество, или фитоценоз.

Оценка изменения природно-общественных ситуаций осуществляется с помощью комплексного мониторинга – систем наблюдения и отслеживания состояния атмосферы, гидросферы, почвы, растительности, животного мира и ландшафта в целом. Комплексный мониторинг проводится в целях объединения ряда программ различных видов мониторинга для всесторонней оценки загрязнения окружающей среды на разных уровнях экосистем:

- локальном – слежение на сравнительно небольшой территории (загрязнение воздуха в городских условиях, загрязнение питьевой воды, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и т. п.);
- региональном – слежение в пределах какого-либо региона (крупного территориального подразделения Земли);
- глобальном – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере (включая все ее экологические компоненты).

Комплексный мониторинг – это непрерывная программа долгосрочного сбора информации о специфических экологических системах. Число таких систем должно быть установлено в соответствии с фактическим биологическим разнообразием данного региона, а также с современным уровнем знаний по идентификации типов экосистем. Сбор информации должен по возможности вестись с помощью сравнительно простой технологии, чтобы нивелировать различные технические возможности сторон – участников мониторинга.

Оценка состояния и уровня деградации экосистем проводится в сравнении с участками характерной для данного природного



района естественной или почти естественной (квазинатуральной) растительности, мало затронутой деятельностью человека.

Мониторинг окружающей среды ведется в несколько этапов. Первый этап – инвентаризация природных объектов, второй – выбор объектов мониторинга, третий – организация регулярных наблюдений и четвертый – систематизация и анализ полученной информации.

Объекты мониторинга должны представлять различные природные комплексы, биогеоценозы и их составляющие. Они включают следующие компоненты.

1. **Территориальные комплексы.** Их выделение основано на том, что элементарные территориальные единицы растительного покрова, животного населения, почв, микрорельефа образуют различные устойчивые сочетания, связанные между собой функционально. Информация о территориальном комплексе содержит материалы по геоморфологии, гидрологическому режиму, сочетаниям почвенных разновидностей, типологической структуре и сукцессиям растительности, плотности животного населения.

2. **Экологические профили** – предназначены для мониторинга взаимосвязанных территориальных структур.

3. **Биогеоценотические стационары** – предназначены для выполнения детальных комплексных исследований экологических режимов и биологических процессов.

4. **Постоянные пробные площади** – основные объекты фитоценотического и зоологического мониторинга на экологических профилях, биогеоценотических стационарах, а также на всех других объектах, требующих изучения динамики экосистем.

5. **Фиксированные точки (площадки)** – предназначены для детального учета растительности (флористический состав, горизонтальная структура), животного населения, почвенного покрова, гидрологических условий и т. п.

Невозможно принимать меры по охране природных объектов, не имея информации об их состоянии, о тенденциях изменения этого состояния, наконец, о факторах, которые влияют на эти тенденции. Мониторинг дает наиболее достоверную, научно обоснованную информацию для принятия решений по защите окружающей среды. При организации экологического мониторинга наблюдения не могут ограничиться одним уровнем, скажем, уровнем биологических видов.

Предположим, исчез какой-то вид. Это могло произойти либо в результате естественных причин, либо под влиянием антропо-

генного фактора, и нужно четко определять степень этого влияния в сопоставлении с возможностями природной среды. Если антропогенное воздействие не выходит за рамки этих возможностей, можно считать, что природопользование носит рациональный характер, а если нет, значит, нужно принимать экстренные меры по защите природы.

Вот пример из практики. На территории Приокско-Террасного биосферного заповедника исчезает подрост сосны – нет естественного возобновления, потому что лоси выедают молодые сосенки. И хотя рост численности лосей – явление не антропогенное, его следует считать таковым: лосей разводит охотхозяйство. Дело в том, что условия заповедника привлекают лосей, которые и стригут подрост сосны. Но это факт наблюдения. Для того чтобы знать, что наблюдать, как наблюдать и даже когда наблюдать, выявить критерии оценки состояния, нужно изучать именно природные процессы, получить полное знание о них и выбирать такие методы, которые позволяют зафиксировать самые важные изменения в окружающей среде.

Природные процессы при мониторинге изучаются на разных уровнях: экологического региона, типичных экосистем и на уровне компонентов биоты (растения, животные, микроорганизмы). Например, один из показателей состояния природной среды – это соотношение земельных угодий региона. Вопрос с точки зрения рационального природопользования стоит так: какое соотношение пахотных и лесных земель допустимо на территории данного конкретного региона? Ведь ту или иную территорию, допустим в черноземной зоне, в принципе можно распахать полностью. Но если учесть неизбежную эрозию, появление оврагов и другие возможные последствия развития данной зоны, приходится решать, какую часть лесов вокруг тех же оврагов вырубить, а какую часть и какого качества сохранить.

После предварительного описания экосистем необходимо перейти к постоянному контролю выбранных биоиндикаторов, дающих информацию о потоке основных загрязнителей и их накоплении.

**Биоиндикация** – метод определения степени загрязненности геофизических сред с помощью живых организмов. В качестве биоиндикаторов используются различные группы организмов: бактерии, грибы, водоросли, лишайники, мхи, некоторые высшие растения (особенно хвойные породы деревьев) и животные (чаще беспозвоночные).

К числу преимуществ биоиндикации перед инструментальными методами следует отнести ее относительно высокую скорость, низкую стоимость и возможность характеризовать состояние среды за длительный промежуток времени. Использование биоиндикации в качестве сигнальной информации имеет все преимущества: высокую чувствительность биоты к изменениям состояния атмосферного воздуха и почв, интегральный характер данных и возможность анализировать образцы в одной (центральной) лаборатории.

Одним из методов биоиндикации является *лихеноиндикация* — определение степени загрязнения природной среды с помощью лишайников (от лат. *lichen* — лишайник). Установлено, что лишайники особенно чутко реагируют на загрязнение атмосферы токсическими веществами. Своими слоевищами они активно поглощают атмосферные осадки, а следовательно, и растворенные в них вредные вещества, в частности тяжелые металлы. Поэтому по количеству вредных веществ, содержащихся в лишайниках, можно судить о степени загрязненности территории.

В качестве биоиндикаторов можно также использовать широко распространенные в наших лесах виды зеленых мхов (бриоиндикация, от греч. *bryon* — мох): *Pleurozium schreberi*, *Dicranum undulatum* и *Hylocomium splendens*. Данные виды используются в настоящее время в странах Западной и Северной Европы для мониторинга содержания тяжелых металлов в бриофитах (мохообразные) и гумусовом слое экосистем сосновых лесов.

В качестве объектов мониторинга часто используются насекомые, поскольку они легко реагируют на антропогенные воздействия, обитают повсеместно и доступны для количественного учета. Например, чехословацкие ученые установили, что в районе золоторудных месторождений увеличивается содержание золота в майских жуках. Известны случаи, когда под влиянием загрязнения среды меняется цвет насекомых, например божьих коровок. Высказана гипотеза, что потемнение божьих коровок в районах некоторых промышленных центров — реакция на ухудшение освещения в результате загрязнения атмосферы.

В качестве биологического теста на чистоту воды могут использоваться «золотые» рыбки, которых так любят выращивать в аквариумах любители. Рыбок помещают в специальный аквариум с речной водой. Учув грязь, они начинают метаться, бьются о решетки.

Состояние довольно большой территории можно охарактеризовать с помощью анализа меда пчел. Американские исследова-

тели показали, что в пробах меда можно обнаружить до 47 различных металлов и химикатов. На территории США насчитывается 4–5 млн пчелиных семей, каждая из которых собирает пыльцу и нектар с площади свыше 4 тыс. га. Такие пчелиные семьи выносливы к воздействию многих химических препаратов. В связи с этим медоносные пчелы могут быть эффективно использованы в качестве показателей загрязнения окружающей среды.

Первые опыты по использованию медоносных пчел для биологического мониторинга проведены в 1974 г. в штате Монтана, где изучали степень ущерба, нанесенного выбросами ТЭС, работающей на каменном угле. Интенсивное изучение возможности использования медоносных пчел для биологического мониторинга было начато в 1981 г. Радиус сбора нектара пчелами, как правило, составляет 1,5 км (иногда до 6 км) от улья, поэтому пчелиный мед является достоверным индикатором состояния окружающей среды в данной местности. Содержание загрязнителей в меде хорошо коррелирует с их содержанием в окружающей среде.

Хорошими биоиндикаторами на содержание некоторых тяжелых металлов могут служить дождевые черви. Польские исследователи изучали содержание цинка, меди, свинца и кадмия в почвах и тканях дождевых червей, взятых с газонов вдоль дорог с интенсивным движением в Варшаве и с газонов парков, расположенных на расстоянии 200 м от дорог. Результаты проведенных исследований показали значительную способность дождевых червей аккумулировать в своих тканях цинк, медь, свинец и особенно кадмий. Содержание последнего в тканях червей во много раз выше, чем в почвах. Установлено, что содержание тяжелых металлов в тканях дождевых червей может служить хорошим показателем загрязнения почвы.

Большое значение для контроля состояния водоемов имеет наблюдение за поведением рыб и содержанием отдельных компонентов в их организме. Установлено, что по мере загрязнения в европейских водоемах вначале исчезает лосось, затем форель, окунь и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кромсаем лед,  
Меняем рек течение,  
Твердим о том, что дел невоворот,  
Но мы еще придем просить прощенье  
У этих рек, барханов и болот,  
У самого гигантского восхода,  
У самого мельчайшего малька...  
Пока об этом думать неохота,  
Сейчас нам не до этого... пока.  
Аэродромы, пирсы и перроны,  
Леса без птиц, и земли без воды...  
Все меньше окружающей природы,  
Все больше окружающей среды.

*Р. Рождественский*

Усиливающееся антропогенное влияние на окружающую среду привело к такому уровню взаимоотношений между человеком и природой, который мы называем экологическим кризисом. Человек современный мало похож на человека прошлых столетий. Как ни парадоксально, завладев самыми передовыми технологиями и современной техникой, он все более беззащитен перед силами Природы и в большей мере зависим от любых нарушений равновесия природных сил.

Должны были пройти тысячелетия, чтобы человек, подойдя к грани, отделяющей бытие от небытия, наконец-то понял: все живые организмы, в том числе и он сам, не существуют сами по себе, а являются тесно спаянными звеньями в общей планетарной системе, которая носит название «окружающая среда».

Взаимосвязи между живыми организмами и факторами окружающей среды являются предметом изучения экологии, которая представляет собой сравнительно молодую ветвь естествознания. Велика и мировоззренческая роль современной экологии. Прежде всего она дает человеку не разрозненные знания, а целостный взгляд на окружающий его реальный мир, мир живой природы. Люди постепенно начали забывать, что они тоже вышли из этого мира, и противопоставили себя природному окружению, создали свое технократическое общество. Экология призвана вернуть человеку осознание единства всех форм жизни на Земле. Формирующееся новое экологическое мышление требует понимания единства и нерасторжимости мироздания, и человек как носитель сознания должен нести ответственность за Землю и за ее будущую эволюцию.

Биосфера Земли состоит из огромного количества связанных между собой конкретных наземных и водных экологических систем. Поэтому устойчивость и целостность биосферы в конечном итоге зависит от состояния этих экосистем. Исчезновение какого-либо вида растений или животных приводит к нарушению тонко отрегулированных пищевых цепей и выпадению в результате этого ряда организмов. Основа стабильности любой системы – это разнообразие составляющих ее компонентов. Для экосистем это биоразнообразие, поэтому любой вид живых организмов неповторим и бесценен для эволюции. «Нам не дано предугадать», какие последствия может повлечь за собой исчезновение того или иного вида растения, животного или микроорганизма.

Мы уже не досчитываемся в природе Беларуси около 40 видов растений и 20 видов животных, исчезнувших безвозвратно. Кто знает, может быть, какое-то из исчезнувших растений и могло бы помочь человеку в его повседневной борьбе с болезнями века – раком и СПИДом?! Не потеряли ли мы драгоценный эликсир здоровья вместе с исчезнувшими живыми организмами? Дать ответ на этот вопрос едва ли удастся.

Таким образом, развитие цивилизации можно рассматривать как двоякий процесс. С одной стороны, это поступательное движение вперед на основе развития научно-технического прогресса, а с другой – катастрофическое сползание в пропасть экологической катастрофы. У человечества остался, может быть, последний шанс для возрождения нашей планеты. Нужно торопиться, чтобы катастрофа не стала необратимой.

Английская пословица гласит: «В стеклянном доме не кидают друг в друга камнями». Отношение к природе, к природному окружению человека изменится, если возникнет осознание, что дом, в котором мы живем, не просто стеклянный – хрустальный. Всем нам стоит понять раз и навсегда: от нас и только от нас зависит, смогут ли наши дети и внуки дышать чистым воздухом, не будут ли литься на их головы вместо свежего весеннего дождя мутные потоки грязной воды, услышат ли они переливчатые трели соловья, смогут ли прикоснуться к той тайне, которая скрыта в каждом цветке, каждой былинке, каждом деревце... Планета Земля – наш общий дом, дом для человека и для человечества. Как поведет себя человек в критический период своей истории, зависит только от него самого.

# ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

**Автотрофные организмы** – организмы, синтезирующие из органических соединений органические вещества с использованием энергии Солнца или энергии, высвобождающейся при химических реакциях. К автотрофам относятся высшие растения (кроме паразитных и сапрофитных), водоросли и некоторые бактерии.

**Агроэкосистема** – неустойчивая экосистема, искусственно созданная человеком с целью получения сельскохозяйственной продукции.

**Алармизм** (от англ. *alarm* – тревога, страх) – течение в западной науке, представители которого акцентируют внимание на катастрофических последствиях воздействия человека на природу, нехватке природных ресурсов для дальнейшего развития человечества.

**Альтернативная энергетика** – энергетика, основанная не на традиционных ископаемых источниках (уголь, нефть, сланцы, газ и т. п.), а использующая энергию Солнца, геотермальных источников (использование разности температур), моря (энергия приливов и отливов, морских течений), ветра и т. п.

**Антропогенные факторы** – движущие силы совершающихся в природе процессов, своим происхождением связанные с деятельностью и влиянием человека на окружающую среду.

**Аутэкология** – экологическая дисциплина, изучающая взаимоотношения организма (вида, особи) с окружающей его средой (ср. Синэкология).

**Биогенное вещество** – химическое соединение, возникшее в результате жизнедеятельности организмов; по В. И. Вернадскому – вещество, создаваемое и перерабатываемое организмами.

**Биогеоценоз** – совокупность однородных природных элементов на определенном участке поверхности Земли.

**Биогеоценология** – научная дисциплина, изучающая закономерности формирования, функционирования и развития биогеоценозов.

**Биомасса** – выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов (популяций, видов, сообществ), приходящееся на единицу площади или объема.

**Биоиндикатор** – группа особей одного вида или сообщество, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей.

**Биоиндикация** – определение качества среды с помощью биоиндикаторов.

**Биокосное вещество** – вещество, которое создается одновременно живыми организмами и косными процессами (например, почва).

**Биологические «часы»** – физиологические механизмы, обуславливающие способность организмов реагировать на интервалы времени, и явления, связанные с этими интервалами.

**Биологическое разнообразие** – разнообразие организмов, населяющих Землю, и их природных сочетаний.

- Биом** – крупное системно-географическое подразделение, включающее различные группы организмов и среду их обитания в пределах природно-климатической (ландшафтно-географической) зоны (например, биом бореальных хвойных лесов).
- Биомасса** – выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов, приходящееся на единицу площади или объема.
- Биосфера** – оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной деятельностью живых организмов. Включает нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы Земли, населенные живыми организмами.
- Биосферный заповедник** – охраняемая территория с эталонными участками какого-либо из основных биомов Земли.
- Биотоп** – участок с однородными экологическими условиями, занятый определенными биоценозами (см. Экоотоп).
- Биоценоз** – системная совокупность (сообщество) популяций растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды. Состоит из продуцентов, консументов и редуцентов.
- Воздействие антропоическое** – непосредственное влияние человечества на процессы в окружающем мире.
- Воздействие антропогенное** – влияние человечества на окружающую его среду, но не обязательно прямое (ср. Воздействие антропоическое).
- Гелиофиты** – растения открытых мест, не выносящие длительного затенения и предпочитающие местообитания, ярко освещенные солнцем.
- Гетеротрофные организмы** – организмы, использующие для питания готовые органические вещества, произведенные другими видами. К гетеротрофам относятся все животные, растения-паразиты, грибы и подавляющее большинство микроорганизмов.
- Гигрофиты** – сухопутные растения, предпочитающие влажную или переувлажненную среду (болотные растения, растения влажных тропических лесов).
- Гидрофиты** – растения, произрастающие или свободно плавающие в водной среде.
- Гомойотермные организмы** – организмы, способные поддерживать постоянную температуру тела независимо от температуры окружающей среды. К ним относятся птицы и млекопитающие.
- Граничный эффект** – тенденция к увеличению разнообразия и плотности организмов на границах биоценозов.
- Демографический взрыв** – резкое увеличение народонаселения, связанное с изменением социально-экономических или общеэкологических условий жизни.
- Демэкология** – раздел экологии, рассматривающий прямые или обратные связи популяций со средой и внутривидовые процессы.



**Деструкторы** – см. Редуценты.

**Живое вещество** – совокупность тел живых организмов, населяющих Землю вне зависимости от систематической принадлежности.

**Жизненная форма** – тип приспособления; внешний облик разных организмов, отражающий их приспособленность к сходным условиям среды.

**Заказник** – участок природной территории, в пределах которого (постоянно или временно) запрещены отдельные виды и формы хозяйственной деятельности человека в целях сохранения, возобновления и воспроизводства определенных видов природных ресурсов, охраны животных, растений, биогеоценозов или ландшафта в целом. **Заказники** – целевая форма охраны природы.

**Закон (принцип) конкурентного 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.

**Закон минимума Либиха**: рост растения (урожай) зависит от того элемента питания, который присутствует в почве в минимальном количестве.

**Закон толерантности Шелфорда**: лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия.

**Заповедник** – особо охраняемая законом территория, исключенная из любой хозяйственной деятельности, на которой сохраняется в естественном состоянии весь природный комплекс с населяющими его видами живых организмов.

**Климакс** – стабильная конечная (кульминационная) стадия развития (сукцессии) экосистемы в условиях данной местности; заключительная стадия развития биоценоза, на которой он находится в равновесном состоянии с окружающей средой довольно долгое время.

**Климаксовое сообщество** – относительно устойчивое и равновесное по отношению к внешней среде растительное сообщество.

**Комменсализм (сотрапезничество)** – тип биотических отношений: постоянное или временное сожительство особей разных видов, при котором один из партнеров питается остатками пищи или продуктами выделения другого, не причиняя ему вреда.

**Конкуренция** – взаимоотношения между организмами одного и того же вида (внутривидовая) или разных видов (межвидовая), соревнующимися за одни и те же ресурсы внешней среды при недостатке последних.

**Консорция** – структурная единица биоценоза, объединяющая автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных и пищевых взаимоотношений, тесно связанных между собой и зависящих от центрального члена, или ядра. В роли центрального члена выступает вид-эдификатор (обычно автотрофное растение).

- Консументы** – организмы, питающиеся органическим веществом. К ним относятся все животные, часть микроорганизмов, паразитические и насекомоядные растения.
- Континуум** – непрерывное изменение растительного покрова; свойство растительности, отражающее непрерывную мозаику популяционных распределений, связанных условиями среды.
- Косное вещество** – по В. И. Вернадскому, вещество, образуемое в результате процессов, в которых живое вещество не участвует (например, изверженные горные породы).
- Красная книга** – официальный документ, содержащий систематизированный список редких и находящихся под угрозой исчезновения организмов с указанием их прошлого и современного распространения, численности и причин ее сокращения, особенностей воспроизводства, уже принятых и необходимых мер охраны.
- Ксерофиты** – растения сухих местообитаний, способные благодаря ряду приспособительных признаков и свойств переносить перегрев и обезвоживание. Распространены обычно в степях, полупустынях и пустынях.
- Лимитирующий фактор** – экологический фактор, который при определенных условиях окружающей среды ограничивает (лимитирует) какое-либо проявление жизнедеятельности организмов.
- Мезофиты** – растения, предпочитающие средние условия увлажнения воздуха и почвы, промежуточная группа между ксерофитами и гигрофитами (см.). Преобладают в умеренных поясах.
- Мониторинг** – система периодически повторяемых наблюдений и контроля за состоянием окружающей человека природной среды, а также предупреждения о критических ситуациях, неблагоприятных или опасных для жизни, здоровья людей, живых организмов и сообществ.
- Мутуализм** – форма симбиоза: совместное взаимовыгодное существование организмов, при котором партнеры (или один из них) не могут существовать друг без друга.
- Национальный парк** – особо охраняемая обширная территория, предназначенная, помимо сохранения природных комплексов в неприкосновенности, также для оздоровительных (рекреационных), эстетических и просветительских целей.
- Ноосфера** – высшая стадия развития биосферы, связанная с возникновением и становлением в ней цивилизованного человечества, с периодом, когда разумная человеческая деятельность становится главным определяющим фактором развития на Земле (по В. И. Вернадскому).
- Озон** – трехатомная молекула кислорода ( $O_3$ ), обладающая большой химической реактивностью и токсичностью.
- Озоновый экран** – слой атмосферы в пределах стратосферы с наибольшей плотностью озона на высоте 20–22 км, поглощающий ультрафиолетовое излучение, губительное для организмов. Отличается повышенной концентрацией молекул озона (в 10 раз выше, чем у поверхности Земли).

**Осадки кислотные (кислые)** – дождь или снег, подкисленный (рН ниже 5,6) из-за растворения в атмосферной влаге промышленных выбросов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$  и др.). Подкисляют водоемы и почву, что приводит к гибели рыбы и других водных организмов, а также к резкому уменьшению прироста лесов и их усыханию.

**Охрана природы** – общее обозначение системы мероприятий (технологических, экономических, административно-правовых, международных, биотехнических, просветительских и т. д.), обеспечивающих возможность сохранения ресурсо- и средовоспроизводящих функций природы, генофонда, а также невозобновимых природных ресурсов.

**Паразит** – организм, живущий за счет особей другого вида (с нанесением им вреда) и тесно связанный с ними в своем жизненном цикле.

**Паразитизм** – форма взаимоотношений разных организмов, при которой один из них (паразит) живет за счет питания тканями или соками другого (хозяина).

**Паразитоиды** – насекомые, откладывающие яйца либо в теле других насекомых (на ранних стадиях его развития), либо на его поверхности. Паразитоиды в отличие от паразитов вызывают неизбежную гибель хозяина.

**Парниковый эффект** – постепенное потепление климата на планете в результате накопления в атмосфере антропогенных газов (углекислый газ, метан, фтор- и хлоруглероды).

**Пирамида экологическая** – соотношение между продуцентами, консументами и редуцентами в естественных экосистемах, выраженное в их массе и изображенное в виде графических моделей.

**Пищевая цепь** (трофическая цепь, цепь питания) – взаимоотношения между организмами, через которые в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии; ряд видов или их групп, каждое предыдущее звено в котором служит пищей для следующего.

**Пойкилотермные организмы** – организмы с непостоянной температурой тела, меняющейся в зависимости от температуры внешней среды. К ним относятся все беспозвоночные, а из позвоночных – рыбы, земноводные и пресмыкающиеся.

**Популяция** – совокупность особей одного вида, способных обмениваться генетической информацией, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности и существующая неопределенно длительное время на данной территории.

**Природные ресурсы исчерпаемые** – ресурсы, количество которых неуклонно уменьшается по мере их добычи или изъятия из природной среды (богатства недр, почва, виды растений и животных).

**Природные ресурсы неисчерпаемые** – количественно неиссякаемая часть природных ресурсов (солнечная энергия, ветер, приливы).

**Продуктивность биологическая** – биомасса (см.), производимая популяцией или сообществом на единице площади за единицу времени.

- Продуценты** – автотрофные организмы, создающие органические вещества из неорганических соединений, используя солнечную энергию.
- Прокариоты (доядерные)** – организмы (бактерии), характеризующиеся отсутствием в клетках настоящего ядра с оболочкой, отделяющей его от цитоплазмы.
- Редуценты** – организмы (главным образом бактерии и грибы), питающиеся мертвым органическим веществом и подвергающие его минерализации (деструкции), т.е. разрушению до более или менее простых неорганических соединений, которые затем используются продуцентами.
- Рождаемость** – число новых особей, появившихся в популяции за счет размножения в единицу времени.
- Рождаемость максимальная** – образование теоретически максимально возможного количества новых особей в идеальных условиях (при отсутствии лимитирующих факторов).
- Рождаемость экологическая** – увеличение численности популяции при фактических или специфических условиях среды.
- Симбиоз (взаимовыгодное сожительство)** – совместная жизнь двух или более организмов разных видов, в ходе которой оба партнера (или один из них) получают преимущества в отношениях с внешней средой.
- Синэкология** – раздел экологии, исследующий взаимоотношения популяций, сообществ и экосистем со средой.
- Смертность** – интенсивность процесса гибели особей в популяции; число особей, в том числе людей, умерших или погибших в популяции за единицу времени.
- Сообщество** – см. Биоценоз.
- Среда обитания** – совокупность конкретных абиотических и биотических условий, в которых обитает данная особь, популяция или вид.
- Среда обитания биотическая** – силы и явления природы, обязанные своим происхождением жизнедеятельности ныне живущих организмов. Совокупность живых организмов, оказывающих своей жизнедеятельностью влияние на другие организмы.
- Среда обитания абиотическая** – силы и явления природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов; совокупность неорганических условий (факторов) обитания организмов.
- Стенобионты** – организмы, требующие строго определенных условий существования.
- Суккуленты** – многолетние засухоустойчивые растения с толстыми мясистыми листьями (алоэ, агавы) или стеблями (кактусовые), произрастающие в сухих местообитаниях; тип ксерофитов (см.).
- Сукцессия экологическая** – постепенная необратимая (реже обратимая) направленная смена биоценозов, протекающая на одной и той же территории под влиянием природных факторов или воздействия человека.

- Сциофиты** – теневые растения, произрастающие в затененных местах, плохо переносящие освещение прямыми солнечными лучами.
- Техносфера** – современный этап эволюции биосферы, на котором большую роль в ее изменении играет техника; часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в технические и техногенные объекты (здания, дороги, механизмы и т. п.).
- Трофический уровень** – совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей цепи питания.
- Урбанизация** – рост и развитие городов, увеличение удельного веса городского населения в стране, регионе, мире.
- Факторы среды биотические** – совокупность взаимоотношений, взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других.
- Факторы среды абиотические** – проявления свойств неживой природы.
- Фитоценоз** – совокупность популяций растений на относительно однородном участке земной поверхности; растительное сообщество.
- Флюктуация** – сравнительно краткосрочное, ненаправленное, различно ориентированное или циклическое изменение растительного сообщества (фитоценоза), завершающееся возвратом к состоянию, близкому к исходному.
- Фотопериодизм** – реакция организмов на суточный ритм освещения, соотношение длительности дня и ночи, выражающаяся в изменении процессов роста и развития.
- Цепь питания** – см. Пищевая цепь.
- Циркадные ритмы** – околосуточные ритмы, повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений со средней периодичностью 24 ч.
- Чапараль** – один из сухопутных биомов земного шара: растительность средиземноморского типа, состоящая из деревьев или кустарников с жесткими толстыми вечнозелеными листьями.
- Эволюция** – необратимый процесс исторического развития живой природы.
- Эврибионты** – животные или растения, способные существовать при широких изменениях факторов окружающей среды.
- Эдафотоп** – совокупность почвенных условий биогеоценоза.
- Экология** – интегративная наука, изучающая взаимодействие живых организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой.
- Экологическая валентность** – характеристика способности вида животного существовать в разнообразных условиях среды.
- Экологическая ниша** – совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе.
- Экологическая система (экосистема)** – совокупность совместно обитающих разных видов организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом; любое сообщество живых существ и среда их обитания, объединенные в единое функциональное целое.

**Экологический кризис** – напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и природой, возникшее в результате интенсивной неконтролируемой человеческой деятельности, характеризующееся глобальным загрязнением биосферы, вырубкой лесов, уничтожением видов животных и растений и т. п.

**Экотоп** – местообитание сообщества; совокупность абиотических условий неорганической среды данного участка (ср. Биотоп).

**Эукариоты** – высшие организмы, клетки которых содержат четко оформленное ядро с оболочкой, отделяющей его от цитоплазмы. К эукариотам относятся грибы, растения и животные.

## ЭПОНИМИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

**Аристотель** (384–322 до н. э.) – древнегреческий философ и ученый.

**Бергаланфи Людвиг фон** (1901–1972) – австрийский биолог-теоретик. Выдвинул первую в современной науке обобщенную системную концепцию – общую теорию систем.

**Бойль Роберт** (1627–1691) – английский химик и физик, один из учредителей Лондонского королевского общества. Сформулировал первое научное определение химического элемента, ввел в химию экспериментальный метод, положил начало химическому анализу, установил один из газовых законов.

**Брем Альфред Эдмунд** (1829–1884) – немецкий зоолог, просветитель. Автор многотомного издания «Жизнь животных».

**Варминг Йоханнес** (1841–1924) – датский ботаник, один из основателей экологической географии растений и учения о жизненных формах.

**Вергилий Марон Публий** (70–19 до н. э.) – римский поэт.

**Вернадский Владимир Иванович** (1864–1945) – русский советский естествоиспытатель, основоположник геохимии, биогеохимии, радиогеологии и учения о биосфере.

**Вольтерра Вито** (1860–1940) – итальянский математик.

**Высоцкий Георгий Николаевич** (1865–1940) – советский лесовед и почвовед.

**Гаузе Георгий Францевич** (1910–1986) – советский биолог, микробиолог.

**Геккель Эрнст** (1834–1919) – немецкий биолог-эволюционист, сторонник и пропагандист учения Ч. Дарвина. Впервые употребил термин «экология». Предложил первое «родословное древо» животного мира, теорию происхождения многоклеточных, сформулировал биогенетический закон.

**Гриннелл Джозеф** (1877–1939) – американский зоолог.

**Гумбольдт Александр Фридрих Генрих фон** (1769–1859) – немецкий естествоиспытатель, географ и путешественник, один из основателей географии растений и учения о жизненных формах.

**Дарвин Чарлз Роберт** (1809–1882) – английский естествоиспытатель, основоположник материалистического эволюционного учения – дарвинизма.

**Докучаев Василий Васильевич** (1846–1903) – русский естествоиспытатель, почвовед. Создал учение о географических зонах, дал научную классификацию почв.

**Зюсс Эдуард** (1831–1914) – австрийский геолог. Обобщил представления о строении и развитии земной коры.

**Клементс Фредерик** (1874–1945) – американский ботаник.

**Колумелла** (I в.) – римский писатель и агроном, автор сельскохозяйственной энциклопедии.

**Лавренко Евгений Михайлович** (1900–1987) – советский геоботаник.

**Ламарк Жан Батист Пьер Антуан де Моне (1744–1829)** – французский натуралист, ботаник и зоолог, предшественник Ч. Дарвина. Создал учение об эволюции живой природы.

**Левенгук Антони Ван (1632–1723)** – нидерландский натуралист, основоположник научной микроскопии.

**Леруа Эдуард (1870–1954)** – французский ученый и философ-идеалист.

**Либих Юстус (1803–1873)** – немецкий химик.

**Линней Карл (1707–1778)** – шведский естествоиспытатель, создатель системы растительного и животного мира.

**Лотка Альфред Джеймс (1880–1949)** – американский математик.

**Лукреций, Тит Лукреций Кар (I в. до н. э.)** – римский поэт и философ-материалист.

**Мебиус Карл Август (1825–1908)** – немецкий гидробиолог.

**Менделеев Дмитрий Иванович (1834–1907)** – русский химик. Открыл периодический закон химических элементов.

**Мечников Илья Ильич (1845–1916)** – русский биолог, один из основоположников сравнительной патологии, иммунологии. Лауреат Нобелевской премии (1908).

**Морозов Георгий Федорович (1867–1920)** – русский лесовед, ботаник и географ. Создал современное учение о лесе как биогеоценозе.

**Мюллер Пауль (1899–1965)** – швейцарский химик, основатель направления по применению химических средств защиты растений. Лауреат Нобелевской премии (1948).

**Плиний Старший (Гай Плиний Секунд) (23 (24) – 79)** – римский писатель и натурфилософ.

**Пфеффер Вильгельм (1845–1920)** – немецкий биолог, физиолог растений.

**Раменский Леонтий Григорьевич (1884–1953)** – советский ботаник и географ.

**Раunkiер Кристен (1860–1938)** – датский эколог и геоботаник.

**Реди Франческо (1626–1698)** – итальянский естествоиспытатель и врач.

**Рей Джон (1628–1705)** – английский натуралист.

**Рулье Карл Францевич (1814–1858)** – русский естествоиспытатель, биолог-эволюционист, один из основоположников палеоэкологии и эволюционной палеонтологии, создатель первой научной школы зоологов-эволюционистов.

**Сеченов Иван Михайлович (1829–1905)** – русский естествоиспытатель, создатель русской физиологической школы.

**Стеллер Георг Вильгельм (1709–1746)** – немецкий путешественник и натуралист, адъютант (стажер) Петербургской АН (1737). Описал морское млекопитающее, названное его именем.

**Сукачев Владимир Николаевич (1880–1967)** – советский ботаник, географ и лесовед, один из основоположников биогеоценологии.



**Тахтаджян Армен Леонович** (р.1910) – советский ботаник, автор новой филогенетической системы растений и ботанико-географического районирования Земли.

**Тейяр де Шарден Пьер** (1881–1955) – французский палеонтолог, философ и теолог, один из первооткрывателей синантропа.

**Тенсли Артур** (1871–1955) – английский ботаник.

**Теофраст** (настоящее имя Тиртам) (ок. 372 – ок. 287 до н. э.) – древнегреческий философ и естествоиспытатель, один из первых ботаников древности. Создал классификацию растений.

**Тинберген Николас** (р.1915) – нидерландский зоопсихолог и этолог. Разработал учение об инстинктивном поведении животных. Лауреат Нобелевской премии (1973).

**Турнефор Жозеф Питтон де** (1656–1708) – французский ботаник и путешественник, пионер изучения вертикальной зональности растительного покрова.

**Уиттекер Роберт Хардинг** (1920–1981) – американский эколог.

**Фарб Жан Анри** (1823–1915) – французский натуралист, основоположник современной энтомологии.

**Флеминг Александер** (1881–1955) – английский микробиолог. Лауреат Нобелевской премии за открытие пенициллина (1945).

**Хатчинсон Джордж** (р.1903) – американский эколог.

**Шелфорд Виктор Эрнест** (1877–1968) – американский зоолог, эколог.

**Шенбейн Кристиан Фридрих** (1799–1868) – немецкий химик. В 1840 г. открыл озон.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Агесс П.* Ключи к экологии/ Пер. с франц. Л., 1982.
- Андерсон Д. М.* Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек/ Пер. с англ. Л., 1985.
- Баландин Р. К.* Область деятельности человека. Техносфера. Мн., 1982.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология: Особи, популяции и сообщества. В двух томах/ Пер. с англ. М., 1989.
- Биологический энциклопедический словарь.* М., 1986.
- Вернадский В. И.* Биосфера. М., 1967.
- Вернадский В. И.* Живое вещество. М., 1978.
- Войткевич Г. В., Вронский В. А.* Основы учения о биосфере. Ростов-на-Дону, 1996.
- Вронский В. А.* Прикладная экология. Ростов-на-Дону, 1996.
- Гиляров А. М.* Популяционная экология. М., 1990.
- Горелов А. А.* Человек – гармония – природа (Сер. «Человек и окружающая среда»). М., 1990.
- Дажо Р.* Основы экологии. М., 1975.
- Дювиньо П., Танг М.* Биосфера и место в ней человека: Экологические системы и биосфера/ Пер. с франц. М., 1973.
- Камшилов М. М.* Эволюция биосферы. М., 1979.
- Каталог биосферы/ Пер. с англ. М., 1991.*
- Лапо А. В.* Следы былых биосфер, или Рассказ о том, как устроена биосфера и что осталось от биосфер геологического прошлого. М., 1987.
- Лосев К. С.* Вода. Л., 1989.
- Лукашев К. И.* Тревоги и надежды: Изменяющаяся биосфера. Мн., 1987.
- Лучкоў А. І.* Прырода Беларусі: Сучаснасць і будучыня. Мн., 1993.
- Нестеренко В. Б.* Масштабы и последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Беларуси, Украины и России. Мн., 1996.
- Ньюмен А.* Легкие нашей планеты/ Пер. с англ. М., 1989.
- Одум Ю.* Экология. В двух томах/ Пер. с англ. М., 1986.
- Очерки по истории экологии.* М., 1970.
- Парфенов В. И., Лучков А. И.* Современные подходы к решению экологических проблем в Белоруссии. Мн., 1991.
- Пономарева И. Н.* Экология растений с основами биогеоценологии. М., 1978.
- Радкевич В. А.* Экология. Мн., 1997.
- Реймерс Н. Ф.* Азбука природы: Микроэнциклопедия биосферы. М., 1980.
- Реймерс Н. Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990.

*Реймерс Н. Ф.* Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). М., 1994.

*Риклефс Р.* Основы общей экологии. М., 1989.

*Солбриг О., Солбриг Д.* Популяционная биология и эволюция/ Пер. с англ. М., 1982.

*Стадницкий Г. В., Родионов А. И.* Экология. Спб., 1997.

*Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В.* Биосфера. Экология. Охрана природы. Киев, 1987.

*Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. М., 1980.

*Федоров В. Д., Гильманов Т. Г.* Экология. М., 1980.

*Чернова И. М., Былова А. М.* Экология. М., 1988.

*Яблоков А. В.* Популяционная биология. М., 1987.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>Глава 1. Предмет, содержание и задачи экологии.....</b>	<b>7</b>
Предмет и определение экологии .....	10
Структура экологии.....	13
История экологического знания.....	16
Уровни организации живого: два подхода в экологии.....	31
Задачи и проблемы экологии.....	35
<b>Глава 2. Среда обитания. Экологические факторы. Адаптация организмов к среде обитания.....</b>	<b>37</b>
Понятие о среде обитания и экологических факторах .....	37
Автотрофные и гетеротрофные организмы.....	42
Абиотическая среда. Круговорот веществ в природе.....	44
Основные экологические факторы среды.....	58
Лимитирующие факторы .....	66
Биологические ритмы.....	70
Жизненные формы животных и растений.....	75
<b>Глава 3. Экология популяций .....</b>	<b>80</b>
Определение популяции .....	80
Структура популяций.....	84
Пространственная структура популяций.....	85
Динамические характеристики популяций .....	89
Регуляция численности популяции.....	91
Возрастной состав популяции.....	93
Взаимодействие между популяциями.....	94
Цели и задачи популяционной экологии.....	108
<b>Глава 4. Биоценозы .....</b>	<b>111</b>
Понятие биоценоза.....	112
Видовое разнообразие биоценоза.....	113
Пространственная структура биоценоза.....	114
Трофическая структура биоценоза.....	122
<b>Глава 5. Экосистемы: динамика и стабильность.....</b>	<b>132</b>
Структура экосистемы .....	135
Биомы. Основные типы сухопутных биомов.....	136
Биологическая продуктивность экосистем.....	151
Циклические и направленные изменения в экосистемах .....	153
Экологическая сукцессия. Классификация сукцессий. Проблемы стабильности экосистем.....	157
Основные понятия биогеоценологии по В. Н. Сукачеву. Биогеоценоз.....	165
Агроэкосистемы.....	173

<b>Глава 6. Биосфера</b> .....	176
Биосфера как высший уровень организации живых систем.....	176
Учение В. И. Вернадского о биосфере.....	179
Живое вещество планеты.....	185
Биологическое разнообразие как основа стабильности биосферы.....	188
Глобальные биогеохимические циклы в биосфере.....	191
Эволюция биосферы.....	203
Понятие ноосферы по В. И. Вернадскому.....	205
Исторические изменения в биосфере. Техносфера.....	209
Современные проблемы биосферы.....	215
Проблема численности населения планеты.....	222
Загрязнение окружающей среды и здоровье человека.....	226
Масштабы и последствия загрязнения биосферы. Понятие экологического кризиса.....	229
<b>Глава 7. Ресурсы биосферы</b> .....	232
Общая характеристика природных ресурсов.....	232
Атмосфера.....	234
Парниковый эффект.....	236
Проблема сохранения озонового слоя Земли.....	240
Источники загрязнения атмосферы.....	241
Кислотные дожди.....	245
Проблема дефицита пресной воды.....	249
Основные источники загрязнения поверхностных и подземных вод.....	251
Водные ресурсы Беларуси и их использование.....	254
Состояние почвенных ресурсов в мире и в Беларуси.....	256
Деградация почвенного покрова.....	257
Ресурсы сырья и энергии.....	261
Тепловая энергетика, гидроэнергетика и атомная энергетика...	264
Альтернативные источники энергии.....	266
<b>Глава 8. Экология как основа природопользования и охраны окружающей среды</b> .....	270
Рациональное природопользование и охрана природы.....	270
Основные проблемы охраны окружающей среды Беларуси.....	272
Охрана флоры и фауны. Красная книга Беларуси.....	277
Заповедные и другие охраняемые территории.....	282
Биосферные заповедники.....	287
Охраняемые территории Беларуси.....	289
Мониторинг окружающей среды.....	291
<b>Заключение</b> .....	301
<b>Терминологический словарь</b> .....	303
<b>Эпонимический указатель</b> .....	311
<b>Рекомендуемая литература</b> .....	314

Учебное издание

Мавришев Виктор Викторович

## **ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ**

Редактор *Л. А. Коржева*

Художник переплета и художественный редактор *В. А. Ярошевич*

Технический редактор *Л. И. Счисленок*

Корректоры *Л. А. Еркович, Т. К. Хваль*

Компьютерная верстка *И. С. Оликсевич*

Подписано в печать с оригинала-макета издательства "Вышэйшая школа" 29.11.99. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Тип Таймс». Усл. печат. л. 16,8. Уч.-изд. л. 18,73. Тираж 4000 экз. Заказ 2910

ГП «Издательство "Вышэйшая школа"». Лицензия ЛВ № 5 от 22.12.97. 220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика в типографии "Белорусский Дом печати", 220013, Минск, проспект Ф. Скорины, 79.

**В издательстве**  
**«Вышэйшая школа»**

- ✓ всегда в продаже более 100 наименований книг
- ✓ крупный и мелкий опт
- ✓ доступные цены
- ✓ безналичный расчет

***Наш адрес:***

Проспект Машерова, 11  
220048, г. Минск  
Республика Беларусь

***Отдел маркетинга и рекламы:***

Тел.: (017) 223-67-38, 223-99-35  
Факс: (017) 223-29-12, 223-54-15

***Вам всегда рады***  
**в фирменном магазине издательства**  
**«Вышэйшая школа»!**

Цены на наши книги Вас приятно удивят — они самые низкие в республике!  
Широкий ассортимент книжной продукции удовлетворит самого требовательного читателя!

***Ждем Вас по адресу:***

Проспект Машерова, 51, к. 1, г. Минск  
Тел.: (017) 223-47-54, 223-90-55

**Только в опорных магазинах  
издательства «Вышэйшая школа»**

- ✓ цены на книги «Вышэйшая школы» ниже, чем в других магазинах;
- ✓ принимаются заявки на оптовые поставки книг издательства от учебных заведений и библиотек;
- ✓ на крупные оптовые поставки книг издательства возможны торговые скидки.

**Адреса опорных магазинов**

**Брест**

«Дружба»

Бульвар Космонавтов, 120

Тел.: 26-24-62

**Могилев**

«Светоч»

Ул. Королева, 37

Тел.: 23-06-44

**Витебск**

«Светоч»

Ул. Кирова, 10

Тел./факс: 36-03-16

**Новополоцк**

«Усход»

Ул. Кирова, 4

Тел./факс : 5-01-33

**Гомель**

«Книги», магазин № 23

Пр. Октября, 34

Тел.: 48-51-84

**Пинск**

«Крыніца»

Ул. Первомайская, 141а

Тел.: 33-16-38

**Гродно**

«Кругозор»

Бульвар Ленинского

комсомола, 29а

Тел.: 33-82-40