

В.В. МАВРИЩЕВ

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов
небиологических специальностей
высших учебных заведений

3-е издание,
исправленное и дополненное



Минск
«Вышэйшая школа»
2007

УДК 574(075.8)
ББК 22.1я73
М12

Рецензенты: доктор биологических наук, профессор *Л.В. Камлюк*; доктор биологических наук *В.М. Байчоров*

Маврицев, В. В.

М12 Основы экологии : учебник / В. В. Маврицев. – 3-е изд., испр. и доп. – Минск : Выш. шк., 2007. – 447 с.: ил.
ISBN 978-985-06-1413-1.

Рассматриваются предмет и методы экологии, различные среды обитания, разнообразие биологических сообществ, круговорот веществ в природе, распространение организмов, их реакции, регуляция численности, конкуренция, сообщество как основная биологическая единица. Обсуждается современная экологическая ситуация в мире, а также роль науки в охране природы.

Предыдущее издание вышло в 2005 г.

Для студентов высших учебных заведений небиологического профиля. Может быть использован учителями, географами, экологами, всеми, кто интересуется современными проблемами экологии.

**УДК 574(075.8)
ББК 22.1я73**

ISBN 978-985-06-1413-1

© Маврицев В.В., 2003
© Маврицев В.В., 2007, с изменениями
© Издательство «Вышэйшая школа», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

В середине XIX в. великий русский педагог К.Д. Ушинский писал: *«Зовите меня варваром в педагогике, но я вынес из впечатлений моей жизни глубокое убеждение, что прекрасный ландшафт имеет такое огромное воспитательное влияние на развитие молодой души, с которым трудно соперничать влиянию педагога, что день, проведенный ребенком посреди рощи и полей, когда его головой овладевает какой-то упоительный туман, в теплой влаге которого раскрывается все его молодое сердце для того, чтобы беззаботно и бессознательно впитывать в себя мысли и зародыши мыслей, потоком льющиеся из природы, что такой день стоит многих недель, проведенных на учебной скамье».*

Сегодня экологические проблемы превалируют над всеми другими проблемами современности, а экологическое образование является мировой проблемой. Сейчас просто «экологического мышления» недостаточно. Насущная задача – сформировать экологическое мировоззрение. Для этого необходим экологический всеобуч – образование на экологической основе, экологизация знания.

Экологическая грамотность – вот что нужно современному человеку. Раньше косарь мог обойти гнездо, а сейчас с комбайна не увидишь, что там внизу. Старожилы-крестьяне рассказывали, что на две-три недели во всех селах, стоявших на нерестовых реках, прекращали звонить в колокола, а весла на лодках обвязывали паклей или тряпками, чтобы не было лишнего шума, беспокоящего рыбу. На этот случай существовала ныне забытая пословица: «Рыба святое дело делает – оставь реку в покое».

На чем же был основан экологический подход к охране среды своего обитания у наших предков? Где те экологические императивы, на которые опиралось человечество прошлых веков? Следует признать, что глубочайший экологический смысл был заложен прежде всего в вековом опыте народной жизни. Пусть неосознанно и стихийно, но в природе поддерживалось некое экологическое равновесие между лугами, полями, лесами и водами. Даже и в наши дни можно местами встретить размежевание между угодьями. Пруд, да не один, был во многих усадьбах Беларуси, а в нем

непременно рыба, был сенокос – на лугах, а пашня – выше на полях, и все это окаймляли густые чащи леса. Никому в голову не приходило распахать заливной луг, где снимали два урожая сена, или, скажем, спустить пруд, а еще неразумнее – затопить пашню и луг. Ведь неспроста все это было, и совсем еще недавно! А теперь мы неразумно и бездумно травим поля, землю, их несущую, хлеб и все кругом, а в конце концов – самих себя, ядохимикатами!

Налицо противоречие между *программой природы* как системного целого и *программой человека* как ее части. Парадокс заключается в том, что устойчивость биосферы основана на круговороте веществ в природе, а существование человеческого общества подчинено закону необратимого поступательного движения – прогрессу. Таким образом, формирование научного экологического знания ныне отстает от практики социального бытия.

Значение природы неопределимо в жизни каждого человека. Воздух, вода, щебетанье птиц, белка на дереве, бодрящий аромат тенистых лесов – все это природа. «Кладовой солнца» назвал ее М.М. Пришвин. Но черпать из этой кладовой нужно с большой осторожностью. Природа похожа на уязвимую паутину. Коснитесь одной паутинки – и дрогнут 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, тяжелом, но благородном деле нужно начинать прежде всего с себя, с обращения к нравственному началу каждого человека. И чем раньше, тем лучше. Недаром академик Д.С. Лихачев ввел в обиход понятие «экология нравственности». Оставаясь наедине с природой, человек безнравственный может натворить немало бед. Расплачиваться потом придется другим.

Если человек сам непосредственно каким-то добрым делом соприкоснется с природой, например, вырастит дерево или цветок, то прежде чем сломать ветку или сорвать растение, он непременно задумается, а нужно ли это делать? Постоянное и доброе общение с природой необходимо каждому. Тогда человеку откроются три важнейшие заповеди – он должен хорошо **знать природу и ее законы, беречь и охранять ее, и, конечно же, приумножать ее богатство.**

А начинать надо с себя. Нельзя быть равнодушным. Нельзя проходить спокойно мимо торговцев родной природой, нельзя мерить деньгами бесценную красоту наших лесов. 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 В.А. Солоухина о том, что наш век должен быть не только веком пластмассы и алюминия, но, прежде всего, веком зеленых трав, ярких цветов, чистых рек и лесов...

Автор

ПРЕДМЕТ И ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИИ, ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ

1.1. Что такое экология? Предмет экологии, Экология как научная дисциплина

Что физическая и духовная жизнь человека неразрывно связана с природой, означает не что иное, как то, что природа неразрывно связана сама с собой, ибо человек есть часть природы.

Карл Маркс

Сегодня каждый знает слово «экология». В последнее время оно употребляется по любому случаю и столь часто, что сам смысл его затерялся где-то в анналах научных публикаций. Оно стало модным. Его упоминают политики и ученые, писатели и философы, активисты общественного движения и просто обыватели. Для последних словосочетание «плохая экология» звучит как приговор в последней инстанции. И никто из них не задумался об абсурдности данного положения. Действительно, не смешно ли звучит фраза: «У нас в городе плохая физика (или химия, или психология)»? А вот термин «экология», оказывается, можно употреблять в сочетании с такими прилагательными, как «плохая», «ужасная», «грязная» и т.п. Иногда доходит до смешного: учителя (так же, как и преподаватели) задают учащимся такие темы рефератов, как: «Экология трубопроводов», «Экология подсобных помещений», «Экология приусадебного участка» и т.п.

Важность экологии как науки для человека заключается в том, что она изучает его непосредственное природное окружение. По мере своего эволюционного развития человек, наблюдая природу и присущую ей гармонию, невольно стремился внести гармонию в свою жизнь. Это желание стало особенно острым лишь сравнительно недавно, после того, как стали очень заметными последствия неразумной хозяйственной деятельности, приводящие к разрушению природной среды.

А это в конечном итоге оказало неблагоприятное влияние на самого человека. Вот почему термин «экология» получил такое широкое распространение.

Следует помнить, что экология – **фундаментальная научная дисциплина**, идеи которой имеют очень важное значение. И если мы признаем важность этой науки, нам надо научиться правильно пользоваться ее законами, понятиями, терминами. Ведь они помогают людям определять свое место в окружающей их среде, правильно и рационально использовать природные богатства.

Истоки искажения научного термина «экология» восходят к середине 60-х гг. прошлого века, когда резкий взрыв народонаселения планеты породил множество негативных явлений в окружающей человека природной среде, которые сейчас носят всеобъемлющее название «экологический кризис».

Именно в то время были отмечены первые опасные проявления наплевательского отношения к природе, что заставило человека обратить пристальное внимание к состоянию окружающей среды. И для различных негативных явлений в природе начали применять термин «экология», не задумываясь о его действительном значении.

Именно тогда наметилось резкое расхождение по двум основным генеральным направлениям в развитии цивилизации: с одной стороны, циклическое (спиральное) развитие природных явлений, а с другой – векторное направление научно-технического прогресса. В этом и состоит суть противоречия, возникшего между человеком и природой.

Природа, как известно, развивается циклически. До поры до времени (а именно тогда, когда он был только собирателем и охотником) человек являлся органическим составляющим природных циклов. Человек не противопоставлял себя природному окружению. Да, он убивал животных, но убивал ровно столько, сколько нужно, чтобы прокормиться в данный конкретный момент, как делают дикие животные. Да, он рвал растения, выкапывал корни, собирал плоды, но не вырывал больше, чем нужно для пропитания, не уничтожал целенаправленно и цинично дикие виды.

И чем быстрее прогрессировало человеческое общество, тем дальше и дальше человек отдалялся от своего природного окружения. И, видимо, процесс приобрел уже необратимый характер. Задача современного человека – попытаться хотя бы сохранить то, что еще не затронула прожорливая цивилизация.

Человечество только тогда заговорило о перспективах экологической катастрофы, когда стало очевидным, что без природы, природного окружения человек не выживет и исчезнет как биологический вид. Это и побудило его к активным действиям по охране окружающей среды, разработке основ экологического образования и воспитания. А вот природа прекрасно обойдется и без человека (если только раньше он не уничтожит все живое).

Вспомним историю. Появившись в мезозое, динозавры, эти огромные неуклюжие создания, оставались повелителями планеты в течение 170 млн лет! Человека тогда не было и в помине. Если принять за условный срок время появления на Земле человека первобытного в 100 тыс. лет, а человека разумного – в 15–20 тыс. лет, то это означает, что в масштабах существования динозавров на планете, человек может еще теоретически оставаться господствующим видом в течение 169 млн 900 тыс. лет. Возможно ли такое? Хотелось бы знать, сохранимся ли мы на Земле через 169 с лишним миллионов лет? Ответ: теоретически – да; практически – вряд ли.

Таким образом, термин «экология» и прилагательное «экологический» превратились к концу XX в. в расхожие емкие слова, 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, благодаря которым 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. В последнее время наблюдается профанация экологии, иска-

жение ее истинного смысла и значения. Слово «экология» с легкой руки непрофессионалов стало применяться довольно широко, охватывая при этом все формы взаимосвязей человека и окружающей среды. Поэтому оно постепенно 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. Дело дошло до того, что многие не понимают разницы между экологией, охраной природы и рациональным природопользованием. Произойшла путаница понятий.

Прежде всего о самом термине. Его ввел в науку немецкий биолог Эрнст Геккель в 1866 г. (до этого предлагались другие варианты – «эпирриология», «биономия» – но они не прижились). Термин «экология» происходит от греческих корней «ойкос» – дом, жилище, местопребывание, обиталище и «логос» – «наука», т.е. это наука о взаимоотношениях организмов со средой обитания.

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

В Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона (1904) 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 XX в., 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, выкристаллизовались 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 – биологизи-

рованная (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...». Затем он пишет: «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). Это синтетическая наука, которая имеет полное право на существование в общей иерархии современных наук.

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

Приведем некоторые, наиболее характерные определения экологии как науки.

«Экология – это наука, исследующая закономерности жизнедеятельности организмов (в любых проявлениях, на всех уровнях интеграции) в их естественной среде обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельности человека» (В.А. Радкевич).

«Экология – это наука об обиталищах, или, говоря более широко, об «условиях существования». Так как экология имеет дело с естественной историей и с функциональными процессами групп организмов на суше, в океане и в пресной воде, было бы правильнее придерживаться новейших идей и определить экологию как науку о строении и функциях природы» (Е. Одум).

«Экология занимается вопросами социологии растений, животных, микроорганизмов, их сочетаний» (Б.Г. Розанов).

«Экология относится к числу фундаментальных подразделений биологии, исследующей фундаментальные свойства жизни надорганизменного уровня организации. Иными словами, экология изучает совокупность живых организмов, взаимодействующих друг с другом и образующих с окружающей средой обитания единство (т.е. систему), в пределах которого осуществляется процесс трансформации энергии и органического вещества» (**В.Д. Федоров**).

«Экология – это наука о популяциях, и популяция – основной объект изучения экологии» (**С.С. Шварц**).

«Я утверждаю, что экология является исследованием систем на таком уровне, когда особи могут рассматриваться как элементы взаимодействия друг с другом или со свободно организованной матрицей окружающей среды. Системы на этом уровне рассмотрения называют экосистемами, и экология несомненно является биологией экосистем» (**Р. Маргалеф**).

«В буквальном смысле экология – это «наука о местообитании». Существует довольно много определений экологии, однако подавляющее большинство современных экологов считает, что современная экология – это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают» (**Р. Дажо**).

«...Экология становится все более цельной дисциплиной, которая связывает естественные и гуманитарные науки» (**Ю. Одум**).

«Экологию мы понимаем как синоним науки, изучающей в переводе с греческого «собственный дом». Именно в таком контексте мы говорим об экологии человека, экологии общества, когда домом человечества становится не только природа, его непосредственно окружающая, но и вся биосфера. Качество экологической обстановки мы видим в соответствии условий, определяемых окружающей средой, потребностям общества и, прежде всего, здоровью населения, возможностям его стабильного существования» (**Н.Н. Моисеев**).

«Люди не могут отдать экологию на откуп специалистам, как это происходит с другими дисциплинами; все явственней они будут ощущать необходимость в применении этих специальных знаний в повседневной действительности. Они должны понять, что господство жизни над физической средой обеспечивается, с одной стороны, разнообразием живых существ и их взаимоотношений, а с другой – координированностью биологических явлений» (**П. Дювиньо, М. Танг**).

«Экология – область знания, рассматривающая совокупность предметов и явления с точки зрения объекта (живого, с участием живого, в том числе человека), принимаемого за центральный в этой совокупности» (Н.Ф. Реймерс).

Таким образом, при определении экологии можно отметить некоторые общие положения:

1) это наука, изучающая отношения организмов к окружающей среде, взаимодействие организмов со средой;

2) наука об исследованиях систем (популяция, экосистема);

3) совокупность проблем взаимодействия общества и природы;

4) наука о строении и функциях природы.

Отсюда можно сделать вывод, что экология – это прежде всего наука, изучающая отношения организмов между собой и окружающей средой, между которыми возникает множество разнообразных связей. Организмы же благодаря этим связям существуют в природе не как хаотичные скопления, а образуют определенные сообщества – надорганизменные системы. К надорганизменным системам относятся популяции, биоценозы, экосистемы и биосфера (о них речь пойдет ниже). Поэтому можно дать следующее определение экологии: **экология – наука, изучающая взаимоотношения организмов между собой и с окружающей их природной средой, а также структуру и организацию биологических систем различного уровня (популяции, биоценозы, экосистемы).**

Объекты изучения современной экологии составляют как бы трехступенчатое сооружение. В основании, на первой ступени, находятся отдельные особи. Выше располагаются популяции и сообщества, последнюю ступень занимают экосистемы. Каждая такая ступень характеризуется своими структурными и функциональными характеристиками. Таким образом, **объектами изучения экологии** являются как отдельные организмы, так и (в большей степени) экологические системы различной сложности – популяции, сообщества в определенных средах обитания, развивающиеся и действующие по своим законам.

Центральным разделом экологии является изучение экосистем, которые, по сути, являются тем, что мы обычно называем окружающей нас природой. В отличие от популяции или сообщества экологическую систему можно считать самостоятельным объектом – в ней имеется все, что необходимо для ее существования. Поэтому экосистемы являются **главным**

предметом экологии. Так как все живое организовано в экосистемы (вся биосфера в целом – это тоже экосистема высокого уровня), то человек также оказывается включенным в многочисленные экологические взаимосвязи. Экология изучает взаимосвязи: между организмами (включая пищевые и непищевые взаимосвязи); между организмами и средой их обитания; взаимосвязи внутри надорганизменных систем.

Наряду с многочисленными определениями экологии, которые предложили ученые различных биологических (и небιологических) дисциплин, получило распространение предложенное известным литературоведом, академиком Д.С. Лихачевым выражение «экология культуры». Конечно, такой взгляд на экологию вполне правомерен, поскольку, в конечном счете, она – часть общечеловеческой культуры. Лихачев писал: «Человек – часть природы, и отсутствие в природе духовного человека, представляющего как бы «самосознание вселенной», лишает смысла существования не только человека, но и все сущее, все мироздание... Такую обезглавленную природу не будет смысла охранять. И отношение к природе, и отношение к культуре требуют общих правил нравственности, общего осознания человеком себя как части природы и части 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), – это 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 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. Мы находимся 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 началась. Здесь необходима ясная и всеми признаваемая фило-

софия 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.

1.2. Краткая история экологического знания

И благословил их Бог, глаголя: раститесь и множитесь, и наполняйте землю, и господствуйте ею, и обладайте рыбами морскими и зверями и птицами, и всем и скотами и всею землею.

Бытие. 1:28

Развитие человечества происходило, с одной стороны, в борьбе с природными силами, а с другой – в инстинктивном стремлении к охране своего природного окружения. Неосознанно человек чувствовал, что потеря природной среды неминуемо приведет к катастрофе – исчезновению не жизни, нет, а к уничтожению человека как биологического вида.

Эволюция Земли до и после появления человека – это два совершенно разных качественных отрезка в естественной истории развития нашей планеты. Человек, по выражению В.И. Вернадского, стал мощной геологической силой, которая неузнаваемо изменила и продолжает изменять облик Земли.

Американский натуралист Арнольд Ньюмен предложил следующую теоретическую модель развития нашей планеты. «История эволюции насчитывает 3,5 млрд лет; приняв каждые 10 млн 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».

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 15 до 25 тыс. лет тому назад. Все началось тогда, когда первый крестьянин бросил в почву первое зерно в надежде, что оно даст ему новое растение и принесет 20 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.

Уже в самых древних из известных нам письменных источников не только упоминаются различные названия животных и растений, но сообщаются некоторые сведения об их образе жизни. Видимо, авторы этих рукописей обращали внимание на представителей живой природы не только из любознательности, но и под впечатлением от их значения в жизни людей: охоты на диких зверей и птиц, рыболовства, защиты посевов от вредных животных и т. д. Познавая природу, люди вынуждены были учитывать значение среды обитания в жизни организмов.

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 «Рамаяну» и «Махабхарату», 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 агроном 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, например, Аристотель (384–322 гг. до н.э.) не будучи экологом в современном понимании этого термина, придавал предложенной им классификации животных экологическую окраску. В своих многочисленных трудах («О частях животных», «Возникновение животных», «Описание животных») он одним из первых рассматривает животных в связи с их местообитанием. Труды Аристотеля оставались актуальными для науки почти 2 тыс. лет, до эпохи Возрождения.

Ученик Аристотеля Теофраст (372–287 гг. до н. э.) описал группировки растений и типы деревьев, произрастающих на разной высоте. Ему принадлежат зрелые высказывания экологической направленности. В своих книгах «Естественная история растений» и «О причинах растений» он описывает естественные группировки растений, приуроченные к определенным местообитаниям. Теофраст указывал на приносимое значение окраски животных и ее изменений. Он создал классификацию растений, систематизировал наблюдения по их морфологии, распространению и медицинскому использованию.

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 осознавать 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.

Эпоха Возрождения была отмечена великими географическими открытиями, а значит, и новыми успехами в области естествознания. Первенствовали такие классические науки, как география, ботаника, зоология. Ученые и путешественники не только описывали внешнее и внутреннее строение растений, но и сообщали сведения о зависимости растений от условий произрастания или возделывания. Обнаруживались новые виды растений и животных, появлялись сведения об их поведении, повадках, местах обитания.

Человека на ранних этапах развития естествознания во многом в первую очередь интересовало практическое применение достижений этих наук в практике натурального хозяйства. Именно тогда в Европу были привезены многие диковинные заморские виды: томаты и картофель, кукуруза и кофе, пряные растения, табак и многие другие. Путешественники открывали новые неведомые территории и доставляли из дальних странствий множество полезных в сельском хозяйстве животных.

Приток новых знаний требовал осмысления фактов, разработки классификаций животных и растений, понимания роли и места человека в общей естественнонаучной системе.

Накопленный материал позволял ученым создавать научные труды с привлечением новейших данных. Швейцарский естествоиспытатель Конрад Геснер (1516–1565) издает пятитомную «Историю животных», в которой, следуя классификации Аристотеля, описывает животных. Заслугой Геснера было то, что в свою классификацию он включил признаки среды обитания. Геснер основал в Цюрихе ботанический сад и первый естественноисторический музей.

Итальянский натуралист Улиссе Альдрованди (1522–1605) основывает при университете г. Болонья один из первых ботанических садов и музей животных и растений. В своих трудах «Орнитология», «О насекомых» и других возрождает интерес к биологическим сочинениям Аристотеля.

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 английский химик Роберт Бойль (1627–1691) впервые осуществил экологический эксперимент: он опубликовал результаты сравнительного изучения влияния низкого атмосферного давления на различных животных. Он выяснил, что наибольшей стойкостью к вакууму обладают водные, земноводные и пойкилотермные (т.е. с непостоянной температурой тела) животные и объяснил это их образом жизни.

Французский естествоиспытатель Рене Реомюр (1683–1757) в шеститомном труде «Мемуары по естественной истории насекомых» публикует огромное количество сведений об условиях жизни насекомых, их общественном устройстве, сезонных явлениях, паразитизме и др. В 1735 г. он установил, что сумма средних дневных температур воздуха в тени постоянна для данного сезонного периода в жизни организмов.

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 Карл Линней опубликовал диссертацию «Экономия природы». В ней он изложил свои взгляды на взаимоотношения живых организмов и влияния на их жизнь условий внешней среды. Он утверждал, что для поддержания равновесия взаимных отношений организмов, кроме размножения, важно и их уничтожение, разрушение, так как гибель одного организма делает возможным существование других.

В 1760 г. Линней публикует работу под названием «Общественное устройство природы», в котором сравнивает природу с человеческим обществом, живущим по определенным законам.

Заслуга Линнея прежде всего состоит 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 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 Дарвина.

Знаменитый французский натуралист Жорж Бюффон (1707–1788) публикует 44-томную «Естественную историю» (которая была завершена уже после его смерти). В этом труде он описывает огромное количество животных в связи с влиянием на их жизнь разнообразных факторов внешней среды. Будучи сторонником изменяемости видов (трансформистом), он считал, что виды изменяются под влиянием температуры, климата, пищи и «гнета порабощения», т.е. одомашнивания и приручения. Бюффон выдвинул положение о единстве растительного и животного мира. В противоположность Линнею, он отстаивал идею об изменяемости видов под влиянием условий среды.

Большое влияние на формирование экологических взглядов имел капитальный труд французского натуралиста Жана Батиста Ламарка «Философия зоологии» (1809), в котором он затронул проблему воздействия внешних условий на «действия и привычки» животных. В своих многочисленных трудах Ламарк обосновывал идеи о роли среды в жизни организмов. Первая эволюционная теория, автором которой был Ламарк, во главу угла ставит изменчивость организмов под влиянием среды как источник их эволюционного развития.

Крупнейший немецкий ученый Александр Фридрих Вильгельм Гумбольдт (1769–1859) закладывает основы новой науки – биогеографии (главным образом, географии растений). Основатель учения о жизненных формах выделяет 19 основных жизненных форм растений, основные группы растительных ландшафтов, устанавливает закономерности вертикальной растительной зональности в горах и горизонтальных растительных зон на равнинах. Гумбольдт подробно изучил ос-

новные климаты Северного полушария и составил карту его изотерм. Кроме этого, он внес большой вклад в геофизику, вулканологию, гидрографию. Исследовал природу стран Европы, Центральной и Южной Америки («Путешествие в равноденственные области Нового Света», т. 1–30, 1807–1834). В труде «Космос» (т. 1–5, 1845–1862) предпринял попытку обобщения достижений науки о Земле.

И все же на заре развития экология представляла собой описательное изучение природы, своего рода естественную историю. 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.

Ключевым моментом в истории экологического знания было возникновение самого термина «экология», появление которого ознаменовало рождение новой перспективной науки.

Экология, вероятно, является одной из немногих (а может быть, и единственной) наук, которые имеют свой день рождения. Таким днем можно считать **14 сентября 1866 г.**, когда молодой немецкий ученый-биолог Эрнст Геккель закончил написание фундаментального труда «Всеобщая морфология организмов». Книга вышла в свет в октябре 1866 г., а 14 сентября в предисловии к ней, классифицируя разделы биологии, Геккель впервые употребил термин «экология». Считается, что эту дату и следует принять за официальный «день крещения» экологии.

Эрнст Генрих Геккель родился 16 февраля 1834 г. в Потсдаме. Изучал медицину и естествознание в Берлинском, Вюрцбургском и Венском университетах. В 1857 г. получил диплом врача. В 1865–1909 – профессор Йенского университета.

Сильнейшее воздействие на Геккеля оказали дарвиновские идеи. В 1863 г. он выступил с публичной речью о дарвинизме на заседании Немецкого научного общества, а в 1866 г. вышла его книга «Общая морфология организмов» (*Generelle Morphologie der Organismen*), где впервые предложен термин «экология». Спустя два года появилась «Естественная история миротворения» (*Natürliche schpfungsgeschichte*), где развиваемый им эволюционный подход излагался в более популярной форме, а в 1874 г. Геккель опубликовал работу «Антропогенез, или История развития человека» (*Anthropogenie, oder Entwick-*

kelungsgeschichte des menschen), в которой обсуждались проблемы эволюции человека. Ему принадлежит мысль о существовании в историческом прошлом формы, промежуточной между обезьяной и человеком, что было позже подтверждено находкой на острове Ява останков питекантропа.

Геккель разработал теорию происхождения многоклеточных (теория гастреи, 1866), совместно с зоологом Ф.Мюллером сформулировал биогенетический закон, согласно которому в индивидуальном развитии организма как бы воспроизводятся основные этапы его эволюции, построил первое генеалогическое древо царства животных. Продолжая свои зоологические исследования в лаборатории и в ходе экспедиций на острова Мадейра, Цейлон, в Египет и Алжир, Геккель публикует монографии по радиоляриям, глубоководным медузам, сифонофорам, глубоководным рыбам-удильщикам, а также свой последний систематический труд – внушительную «Систематическую филогению» (*Systematische Philogenie*, 1894–1896).

После 1891 г. Геккель целиком уходит в разработку философских аспектов эволюционной теории. Умер Геккель в Йене 9 августа 1919 г.

Конечно, Геккель и не подозревал, что именно его станут величать «крестным отцом», а иногда и основоположником новой научной дисциплины, ставки которой в настоящее время повышаются с каждым годом. Он дал следующее определение данной науки: «Это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология – это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы 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 приспособляться 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, использовал в своих трудах новые и зачастую гармонично звучащие слова, 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.

Русские ученые активно включились в общее направление экологических исследований. Профессор Московского университета К.Ф. Рулье (1814–1858) основывает первую научную экологическую школу. В своих многочисленных научных трудах и даже в популярных изданиях, например в газетных статьях, он постоянно подчеркивает необходимость изучения животных в связи с условиями их обитания. Рулье доказал зависимость эволюции живых форм от изменения среды их обитания.

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.

В 1854 г. петербургский академик Карл Бэр (1792–1876), более известный как автор закона зародышевого сходства, публикует сведения, которые можно считать основами современной теории динамики популяций рыб. Он сформировал представления о соразмерности рыбных ресурсов с обеспечен-

ностью рыб пищей, балансе между размножением и смертностью рыб в зависимости от наличия корма.

В 1855 г. ученик Рулье Н.А. Северцов (1827–1885) публикует первую диссертацию на чисто экологическую тему: «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадов Воронежской губернии».

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 1859 г. Чарлз Дарвин (1809–1882) публикует свою книгу «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», которая совершила переворот в биологии и подготовила почву для появления экологии как науки.

Важным шагом на пути экологии к описанию целостных природных комплексов стало введение немецким гидробиологом Карлом Мебиусом (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 Мебиус 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 Мебиуса 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» предложил термин «*биогеоценоз*», который соответствует термину «*экосистема*» в англоязычной литературе.

Таким образом, Мебиус 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.

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

В начале 20-х гг. XX в. 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 – *аутэкология* (экология отдельных видов, организмов; от греч. «аутос» – сам), изучающая взаимоотношения организма (особи, вида) с окружающей его средой. Аутэкология 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 гг. XX в. *синэкологии* (от греч. «син» –

«вместе»), или биоценологии, исследующей взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой. Термин «синэкология» был предложен швейцарским ботаником К. 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.

Постепенно ученые-экологи перешли со стадии описательной к стадии осмысления собранных фактов. Интенсивное развитие получили экспериментальная и теоретическая экология. В 20–30-е гг. 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 первые основополагающие экологические концепции, такие, как «пирамида чисел» (в соответствии с этой концепцией численность особей снижается в прогрессии от растений – в основе пирамиды – до травоядных животных и хищников – на ее вершине), «цепь питания», «пирамида биомасс».

Что такое цепь питания и насколько важно познание действия механизмов переноса веществ по ее звеньям, рассмотрим на следующем примере.

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 существовало вакцин. Исследования показали, что распространение малярии и сыпного тифа может быть приостановлено, если удастся ограничить распространение комаров и вшей, которые являются переносчиками 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 распространение малярии.

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 (рис. 1.1). Установлено, что вне зависимости от места применения конечным пунктом накопления пестицидов и их продуктов считаются моря и океаны.

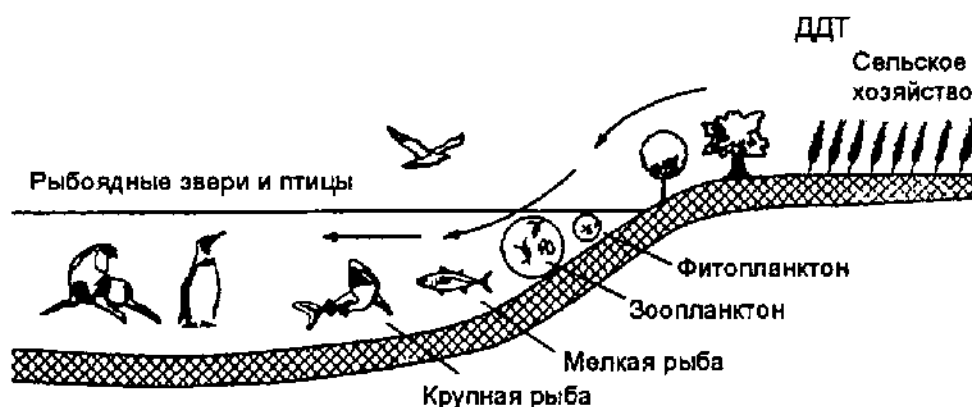


Рис. 1.1. Пути миграции ДДТ в водных экосистемах

ДДТ оказывает негативное воздействие на процесс яйцекладки у птиц. Например, в тех регионах США, где был обнаружен ДДТ, яйца, откладываемые сапсанами (вид сокола), имели тонкую скорлупу. Вероятность того, что эти яйца разобьются до того, как из них вылупятся птенцы, значительно выше, чем в случае яиц с нормальной скорлупой. Ученые полагают, что именно это и послужило главной причиной исчезновения природных популяций сапсанов на востоке США с начала 60-х гг. XX в.

Следует добавить, что ДДТ является инсектицидом широкого спектра действия и, помимо вредителей, убивает и полезных насекомых, например пчел. В 1972 г. в США его повсеместное использование было запрещено. В на-

чале 70-х гг., когда была выявлена и подтверждена опасность ДДТ, во многих странах частично или полностью запретили его применение.

В первой половине XX в. в экологии сложилась парадоксальная ситуация. Ученые-экологи изучали живые организмы, взаимоотношения между ними, среду их обитания, Экологические идеи проникали во все области биологии. Однако у экологов, в отличие от их коллег, работающих в различных областях биологической науки, отсутствовала основная, фундаментальная единица исследований, как, например, у анатомов, изучающих внутренние органы организма, генетиков, изучающих единицы наследственности – гены, гистологов, у которых единицей исследования является живая ткань, либо цитологов с их главным объектом изучения – клеткой. У экологов не было отдельной сформированной специфической единицы исследования. Они изучали все живое.

На этом этапе развития экологии остро почувствовалась нехватка базовой единицы изучения. Ее отсутствие 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, связанных миллионами происходящих между ними взаимодействий.

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

Концепция экосистемы согласуется с общей теорией систем Людвига 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 гг. XX в. применение этой концепции привело к изучению эффективности 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.

Огромное влияние на развитие экологии оказали работы выдающегося русского геохимика В.И. Вернадского (1863 – 1945). 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 утвердилось 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 изучение одних локальных проблем оказалось недостаточным. 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 взаимодействий и взаимоотношений между косной и живой природой, между человеком и окружающей средой.

В 1926 г. 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 неживым есть часть большого механизма земной коры, благодаря которому происходят разнообразные геохимические и биогенные процессы, миграции атомов, осуществляется их участие в геологических и биологических циклах.

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 Вернадского вытекала необходимость комплексного изучения живых, косных и биологических компонентов биосферы в их динамическом единстве.

В конце жизни Вернадский приходит к выводу, что биосфера тесно связана с деятельностью человека; от этой деятельности зависит сохранность равновесия состава биосферы. Он вводит новое понятие – *ноосфера*, что означает «мыслящая оболочка», т.е. сфера разума. Вернадский писал: «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. Перед ним, перед его мыслью и трудом становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободного мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера».

Изучение экосистемы в целом требует более сложных исследовательских средств, которые могут быть обеспечены лишь с развитием возможностей вычислительной техники и обработки информации. Невозможность экспериментальной проверки нередко заставляет экологов переводить наблюдаемые факты на язык математики. Математический анализ (моделирование) позволяет выделять отдельные явления из всей совокупности отношений организма и среды, чтобы глубже понять природу этих явлений. Конечно, при этом не надо забывать, что математические модели представляют собой лишь приблизительное отображение природных явлений.

На основе экологических моделей 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 в какой-то мере энциклопедистом, обладающим комплексом знаний, сконцентрированных 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.

Возвращаясь к истокам возникновения экологии, отметим, 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.

Период становления экологии совпал с периодом кризиса классических наук как таковых – настало время междисциплинарных наук, все реже соответствующих бытовавшим прежде критериям научности, стремящимся вырваться к некой метапозиции, тотальному переосмыслению места и роли человека в мире.

Если в период своего возникновения экология изучала взаимоотношения организмов с окружающей средой и была составной частью биологии, то современная экология охватывает чрезвычайно широкий круг вопросов и тесно переплетается с целым рядом смежных наук, прежде всего таких, как биология (ботаника и зоология), география, геология, физика, химия, генетика, математика, медицина, агрономия, архитектура.

Современный этап развития экологии характерен организацией и осуществлением комплексных фундаментальных научных исследований воздействия человека на естественные про-

цессы в биосфере, а также изучением влияния происходящих изменений на самого человека. Осуществляется изучение влияния человека и его хозяйственной деятельности на различные природные экосистемы. Постепенно человек 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, история развития экологических знаний показывает, что если в период своего возникновения экология делала акцент на изучении отдельных организмов и взаимоотношениях этих организмов с окружающей средой и была составной частью биологии, то современная экология охватывает чрезвычайно широкий круг вопросов и тесно переплетается с целым рядом смежных наук. Таким образом, современная экология – универсальная, бурно развивающаяся, комплексная наука, имеющая большое практическое значение для всех жителей нашей планеты. Экология – наука будущего, и, возможно, само существование человека будет зависеть от прогресса этой науки.

1.3. Уровни организации живой материи и структура экологии

Структура – это самое главное. Ведь без структуры нет никакой раздельности. А если в предмете нет никакой раздельности, то это значит только то, что мы не можем приписать ему никаких свойств, ведь всякое свойство предмета уже вносит в него какую-то раздельность.

А.Ф. Лосев

Возникновение жизни на Земле связано с биологическим круговоротом веществ в пределах границ, определяемых областью распространения жизни, т.е. биосферой. Такой круговорот осуществляется посредством взаимодействия огромно-

го 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.

В настоящее время имеется множество схем, отражающих иерархическую соподчиненность уровней живого. 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 десяти уровней организации живой материи: **молекулярно-генетический, органоидный, клеточный, тканевый, органный, организменный, популяционно-видовой, биоценотический, экосистемный (биогеоценотический) и биосферный.**

Отличительная особенность организации живого на Земле состоит в том, что все функциональные единицы структурных уровней находятся в иерархическом соподчинении. Это означает, что меньшие подсистемы составляют большие системы, а сами в то же время являются подсистемами более крупных систем. Например, клетка является составной частью живой ткани, последняя включается в систему органа, из органов состоит организм (особь), организмы же одного вида составляют популяцию и т.д. По мере усложнения уровня организации подсистем, системы их включающие усложняются и увеличиваются. Причем в одних случаях системы и их подсистемы оказываются относительно независимыми образованиями (например, особь в популяциях), в других же случаях эта самостоятельность намного меньше (орган, клетка в живой ткани).



Рис. 1.2. Спектр уровней организации живых систем

Следует отметить, что экология в качестве поля деятельности для своих исследований охватывает несколько уровней организации жизни: организменный и надорганизменные – от популяционно-видового до биосферного (рис. 1.2). Несомненно, такие исследования нельзя проводить в отрыве от факторов окружающей среды.

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 состоит только в объединении последним биоценотического и биосферного уровней в один – экосистемный.

Обоснованность выделения этих трех уровней 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.

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 предоставляют возможность ее неограниченно длительного существования в постоянно изменяющихся условиях среды. Следует отметить, что популяционный уровень наиболее важен из-за возможности управления популяциями со стороны человека. Воздействие на отдельный организм никакого эффекта не дает, поскольку организм смертен и его отдельно взятые индивидуальные свойства во взаимоотношениях между особями и средой в целом ничего не изменяют. 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.

Экологию можно подразделить на два больших раздела: на 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 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. В недрах специальной экологии сформировался еще один раздел – **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 для решения экологических проблем и задач использует как собственные методы исследования, так и методы других наук. Определенный метод является способом познания и исследования явлений природы. Для экологических работ характерно стремление не только описать то или иное явление, но и дать ему определенное объяснение.

Собственные методы экологии можно разделить на три группы.

1. **Полевые методы** позволяют изучить влияние комплекса факторов естественной среды на естественные биологические системы и установить общую картину существования и развития системы.

2. **Лабораторные методы** дают возможность изучить влияние комплекса факторов моделированной в лабораторных условиях среды на естественные или моделированные биологические системы, получить приблизительные результаты, которые требуют дальнейшего подтверждения в полевых условиях.

3. **Экспериментальные методы** позволяют изучить влияние отдельных факторов и естественной или моделированной среды на естественные или моделированные биологические системы. Они применяются в сочетании как с полевыми, так и с лабораторными методами.

Кроме собственных методов экология широко применяет методы других наук: физики, математики, химии и т.д.

В зависимости от типа изучаемой биологической системы в экологии выделяют следующие направления:

- **аутэкологию** (экологию особей, организмов);
- **демэкологию** (экологию популяций);
- **эйдэкологию** (экологию вида);
- **синэкологию** (экологию сообщества).

Рассмотрим подробнее эти разделы экологии.

Аутэкология – раздел экологии, в задачу которого входит установление пределов существования особи (организма) и тех пределов физико-химических факторов, в диапазоне которых она может существовать. Следовательно, аутэкология изучает взаимоотношения организма с внешней средой, в основе которых лежат его морфофизиологические реакции на воздействие среды. С изучения этих реакций начинается любое экологическое исследование. При этом основное внимание уделяется биохимическим реакциям, интенсивности газового и водяного обменов, а также другим физиологическим процессам, которые определяют состояние организма.

В аутэкологии изучаются различные состояния организма и его реакции на внешнее воздействие в различные периоды жизни (сезонная и суточная активность).

Большое место занимают исследования влияния на организм естественной и искусственной радиоактивности, техногенного загрязнения.

Демэкология изучает естественные группировки особей одного вида, т.е. популяции. Важнейшая задача демэкологии – выяснение условий формирования популяций, а также внутрипопуляционных группировок и их взаимоотношений, структуры, динамики, численности.

Эйдоэкология, или **экология видов** – наименее разработанный раздел современной экологии. Вид как уровень организации живой природы, как надорганизменная биологическая микросистема только начинает становиться объектом экологических исследований.

Синэкология, или **экология сообществ (биоценология)**, изучает ассоциации популяции различных видов растений, животных и микроорганизмов, образующих биоценозы, их формирование и развитие, структуру, динамику, взаимодействие с физико-химическими факторами среды, энергетику, продуктивность, а также другие особенности.

Между разделами экологии существует тесная взаимосвязь и преемственность.

Исходя из вышесказанного, необходимо сделать вывод о том, что в зависимости от того, на что обращается основное внимание – на особый организм, популяцию, вид или комплекс видов, проводят аутэкологические, демэкологические, эйдоэкологические или синэкологические исследования.

В настоящее время существуют более детальные классификации научных направлений, основывающиеся на общем фундаменте экологии. Например, в зависимости от объекта изучения, выделяют такие направления экологии, как *экологию микроорганизмов, грибов, растений, животных*.

Различные типы экосистем изучают такие направления, как *экология тундр и арктических пустынь, лесная экология, экология степей и луговых степей, экология пустынь, гор, островов, континентальных вод, морских побережий, лиманов, эстуариев, океанов*.

Различные факторы и среды жизни изучают: *экология атмосферы, гидросферы, почв, литосферы, радиационная, химическая, ландшафтная* – изучает взаимосвязи компонентов ландшафта, экологические особенности различных экосистем – биогеоценозов суши.

Глобальная экология изучает биосферу как глобальную экосистему.

Исследованием факторов взаимодействия человека с окружающей средой занимаются также направления, как *историческая экология, экология человека, экология города (урбоэкология), инженерная, сельскохозяйственная, промысловая, рекреационная, медицинская экология*.

Также различают следующие направления: *экология и культура, экология морали, экологическое право, экологическая пропаганда (экологическое образование и воспитание), экологическое прогнозирование, экономическая экология, экология и политика*.

В процессе становления экологии произошло смешение понятий того, что же определяет суть этой науки в общем и всей структуры экологического цикла наук в частности. Экологию стали трактовать прежде всего как науку об охране и рациональном использовании природы. Автоматически все, что касается природного окружения, стали называть «экологией», в том числе и охрану природы и охрану окружающей человека среды.

При этом последние два 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 нацелена на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей средой с целью его 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 нацелено на удовлетворение различных потребностей человека путем рационального использования природных ресурсов и природных условий.

Таким образом смешений понятий «экология», «охрана природы», «охрана окружающей среды» и «природопользование» совершенно неправомерно, поскольку экология как фундаментальная наука о взаимоотношениях живых организмов и среды обитания значительно шире учения лишь об охране и защите этой природной среды. Экология является фундаментом, базисом, на основании ее развиваются указанные прикладные науки.

1.4. Основные экологические проблемы современности

Одно из первых и всеми признаваемых условий счастья есть жизнь такая, при которой не нарушена связь человека с природой, то есть жизнь под открытым местом, при свете солнца, при свежем воздухе; общение с землей, растениями, животными. Всегда все люди считали лишение этого большим несчастьем.

Л.Н. Толстой

В настоящее время экологические проблемы современности по своим масштабам условно могут быть разделены на *локальные, региональные и глобальные*, а среди большинства международных экологических конфликтов можно выделить четыре категории: *распределение водных ресурсов, загрязнение морей, чистота воздуха, чистота воды*.

Завод, сбрасывающий без очистки в реку свои промышленные стоки, вредные для здоровья людей, хищническая рубка векового лесного массива, ненормированные выбросы вредных веществ в атмосферу в результате работы промышленного предприятия – все это примеры *локальных* экологических проблем.

Примером *региональных* экологических проблем может служить проблема Полесья – болотистого края с недавно проведенной масштабной мелиорацией. Неправильный, неэкологичный подход к выбору мелиорируемых объектов и ненаучные методы проведения мелиорации привели к тому, что южная часть Беларуси выведена из состояния экологического

равновесия. Шли под сведения леса, спрямлялись реки, уничтожались гнездовья водоплавающих птиц. В результате пропали озера, уничтожен лес, постоянно распаиваются торфяники. Все это привело к черным пылевым бурям, которые периодически в апреле–мае закрывают горизонт. Верхний слой торфа сносится ветром и обнажаются подстилающие пески. Если учесть, что болота – санитары агроэкосистем, т.е. играют важную роль как регуляторы гидрологического режима территорий, запасают влагу в период таяния снегов и осенних осадков, а также питают ручьи и реки в сухие периоды года, то пример экологической катастрофы налицо.

Однако антропогенное воздействие на природу достигло таких масштабов, что возникли проблемы *глобального* характера, о которых в начале XX в. никто не мог даже подозревать. К основным глобальным экологическим проблемам современности, находящимся в поле зрения человечества в начале XXI в., следует отнести:

- изменение климата Земли, парниковый эффект (глобальное антропогенное потепление);
- разрушение озонового экрана, возникновение так называемых «озоновых дыр», снижающих защитные возможности атмосферы против поступления к поверхности Земли опасной для живых организмов жесткой коротковолновой ультрафиолетовой радиации;
- химическое загрязнение атмосферы, и, как следствие этого, образование кислотных осадков;
- демографический взрыв, относительное перенаселение Земли в некоторых регионах, чрезмерная урбанизация;
- загрязнение почв, уменьшение их площадей;
- загрязнение Мирового океана и изменение свойств океанических вод за счет нефтепродуктов, насыщения их углекислым газом атмосферы;
- загрязнение поверхностных вод суши;
- радиоактивное загрязнение локальных участков с тенденцией его расползания по поверхности Земли;
- опустынивание обширных территорий;
- истребление лесного покрова Земли, уменьшение площадей тропических и северных лесов, сокращение площади тропических лесов и северной тайги – основных источников поддержания кислородного баланса планеты;
- продолжающееся накопление на поверхности Земли бытового мусора и всякого рода твердых и жидких отходов,

управление отходами, образуемыми в процессе человеческой деятельности;

- уменьшение биологического разнообразия флоры и фауны и устойчивости экосистем;

- замусоривание околоземного космического пространства, последствия которого до конца пока не осмыслены, если не считать реальную опасность космическим аппаратам, включая спутники связи, локации поверхности Земли и другие, широко использующиеся в современных системах взаимодействия между людьми и государствами;

- изменение геохимии ландшафтов в связи с теплоэнергетикой, перераспределением элементов между недрами и поверхностью Земли в результате горнометаллургического передела (например, концентрация тяжелых металлов) или извлечения на поверхность аномальных по составу высокоминерализованных подземных вод и рассолов;

- нарушение глобального и регионального экологического равновесия, соотношения экологических компонентов в прибрежной части суши и моря;

- освобождение в результате всех вышеуказанных процессов экологических ниш и заполнение их иными видами;

- истощение многих месторождений минерального сырья и постепенный переход от богатых ко все более бедным рудам;

- усиление социальной нестабильности, как следствия все большей дифференциации разнообразных слоев населения многих стран, возрастания уровня вооруженности их населения, криминализации, природных экологических катаклизмов.

Таковы основные насущные экологические проблемы современности. Решение их, а значит, и спасение жизни на Земле, зависит не только от профессиональных экологов, но также и от всех жителей планеты.

СРЕДА ОБИТАНИЯ. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ

Одной из самых замечательных особенностей организмов, поражающей нашу пытливость, является их тонкая приспособленность к окружающей среде.

В.И. Талиев

2.1. Понятие о среде обитания. Абиотическая и биотическая среды

*Ах, эта среда обитания!
Все связаны между собой
Обменом, цепями питания,
Составом, структурой, судьбой.*

Е. Николаевская

То, что окружает организм и влияет (прямо или косвенно) на его жизнедеятельность (состояние, развитие, выживание и размножение), носит название **«среда 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 жизнедеятельности организмов, среда обитания носит название **биотической** – это живая среда обитания.

Несмотря на то, что живую природу почти всегда легко отличить и отделить от неживой, они не существуют отдельно, 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.

Приспособление организма к среде обитания носит название «адаптация». 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. В природе адаптации организмов всегда развиваются под воздействием трех основных факторов: *изменчивости, наследственности и естественного отбора*. Совокупность адаптаций придает строению и жизнедеятельности организмов черты целесообразности.

Способность к адаптациям – одно из основных свойств жизни на нашей планете. Адаптации обеспечивают возможность существования организмов, возможность их выживания и размножения. Адаптации могут проявляться на разных уровнях существования живой материи – от клеточного (биохимическая адаптация) и организменного до уровня организации сообществ и экосистем.

Жизнь полностью зависит от физической среды: *во-первых*, организмы получают пищу из этой среды, *во-вторых*, распространение растений и животных ограничивается их выносливостью к физическим условиям. Жаркий и сухой климат пустыни препятствует жизни в ней большинства организмов, точно так же, как из-за жесткого 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 поч-

воображения, прорывая норы и ходы, вытаптывая землю, 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 обитания, – факторов 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 их от особой среды, в сочетании с которой они образуют некую физическую систему.

В условиях нашей планеты существует четыре среды обитания для живых организмов: *водная среда, наземно-воздушная, почвенная* и *сами живые существа, заселенные паразитами, полупаразитами и симбионтами* (организмами, существующими совместно и извлекающими пользу от сожительства, например, лишайниками).

2.2. 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 гг. XIX в. немецкий биолог Вильгельм Пфеффер разделил все живые организмы *по способу питания*. Это деление сохранилось и до нашего времени. Пфеффер исходил из того, что зеленое растение в природе не нуждается в притоке органического вещества извне, а само может синтезировать его в процессе фотосинтеза. Только исключительно зеленым растениям природой дано искусство создавать органические вещества из воды и воздуха, используя солнечную энергию. Пфеффер назвал их *автотрофами*, что буквально означает «самопитающиеся, самокормящиеся» (от греч. «авто» – 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, Пфеффер назвал *гетеро-*

трофами, 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 или полевая заразиха.

Специализация живых форм в качестве производителей и потребителей пищи создает в биологических сообществах определенную энергетическую структуру, называемую *трофической структурой*, 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 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 растительоядных 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 (рыбы из отряда костистых – *Elopiformes*) 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 и десять фунтов зоопланктона, чтобы получить один фунт сельди. И такой же коэффициент преобразования сохраняется вплоть до высших звеньев пищевой цепи.

2.3. Водная среда

*Вода благоволила литься!
Она блистала столь чиста,
Что — ни напиться, ни умыться.
И это было неспроста.
Ей не хватало ивы, тала
И горечи цветущих лоз.
Ей водорослей не хватало
И рыбы, жирной от стрекоз.
Ей не хватало быть волнистой,
Ей не хватало течь везде.
Ей жизни не хватало — чистой
Дистиллированной воде!*

Л. Мартынов

В соответствии с современными гипотезами происхождения жизни принято считать, что эволюционно первичной средой на нашей планете была именно водная среда. Подтверждению этому служит тот факт, что содержание в крови человека хлора, натрия, кислорода, кальция, калия (поддерживаемое на относительно постоянном уровне) близко к таковому в океанической воде. Вероятно, с этим связано оздоровительное влияние морской воды на человека. Кроме того, жизнедеятельность подавляющего большинства организмов невозможна без воды или, по крайней мере, без сохранения определенного содержания жидкости внутри него. Внутренняя среда организма, в которой происходят основные физиологические процессы, очевидно, по-прежнему сохраняет черты той среды, в которой происходила эволюция первых организмов. Свойства океанической среды во многом определили химико-физическую эволюцию форм жизни.

Вода входит в состав всех элементов биосферы. Это составная часть не только водоемов, но и воздуха, почвы, живых существ. Вода — источник жизни. Совокупность всей воды на планете носит название **гидросфера**. «Любое проявление природной воды — глетчерный лед, безмерный океан, почвенный раствор, гейзер, минеральный источник — составляют единое

целое, прямо или косвенно, но глубоко связанное между собой», – это слова выдающегося ученого, основоположника учения о биосфере, академика В.И. Вернадского характеризуют гидросферу, водную среду нашей планеты.

Эта жидкая оболочка наиболее отличает Землю от соседних с ней планет. Земля уникальна не только тем, что имеет так много воды в жидкой фазе, но и решающей ее ролью в формировании особенных черт планеты. Велика роль гидросферы в поддержании относительно неизменного климата, что позволило живым организмам воспроизводиться в течение более 3 млрд 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 отличалась постоянством.

Без воды жизнь невозможна. Тем, кто привык, что для ее получения достаточно только повернуть водопроводный кран, иногда трудно себе представить, как ценна вода для тех, кто не имеет возможности пользоваться ею в достаточных количествах. Например, женщинам в такой африканской стране, как Буркина-Фасо (бывшая Верхняя Вольта), приходится каждый день в течение 2–3 ч бродить по окрестностям в поисках какой-нибудь речушки или застойного водоема, а затем возвращаться домой, неся на голове 20–25 л 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.

Гидросфера – одна из неотъемлемых сред обитания человека. Она поставляет ему питьевую пресную воду, продукты питания, воду для полива и орошения земель, на которых выращивается жизненно важный урожай. В современном обществе без воды не может развиваться ни одна отрасль промышленности. Огромное количество пресной воды выпивают современные города.

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, технологию промышленного производства совре-

менных продуктов разработали бездумно. На производство 1 т бумажной массы в настоящее время расходуется 300 тыс. л воды, 1 т азотных удобрений – 600 л, а на изготовление 1 т пластика – свыше 1 млн л! Для выпуска 1 т стали нужно 200–300 м³, резины – до 1,4 тыс., бумаги – до 1,3 тыс. м³ воды. Особенно много влаги требует сельское хозяйство. На производство 1 т хлопка требуется 4–5 тыс. м³ воды, риса – 8 тыс., пшеницы – 1,6 тыс., ржи – 1,2 тыс., 1 т картофеля – до 3 тыс. м³ воды. Коротко говоря, для производства суточной нормы продовольствия на одного человека требуется 6 т воды.

Для современного человека уже не в диковинку вид нашей планеты из космоса. Существует множество фото- и киноснимков, на которых видно, что большую часть площади Земли составляет вода. Причем это вода, которая находится на поверхности, но есть еще масса воды, скрытая под земной оболочкой. Более 75 % территории земного шара – водные просторы океанов, морей, рек, озер, болот, льдов. Вода проникает буквально во все возможные полости Земли. Она есть везде – где меньше, где больше. В составе гидросферы океан составляет 94 %, подземные воды – 4,1, ледники – 1,6, озера – 0,016, почвенная влага – 0,005, пары атмосферы – 0,001, а речные воды – лишь 0,0001%.

Общие запасы воды на Земле в свободном состоянии составляют 1,46·10⁶ трлн т жидкой воды и льда, что в 275 раз больше массы атмосферы. 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, моря, океаны, реки, озера – представляла бы на этом апельсине каплю, осторожно нанесенную на его поверхность с помощью пипетки. При этом 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. К сожалению, 75 % пресной воды на Земле находится в виде льда, значительную ее часть составляют подземные воды и лишь 1% доступен для живых организмов (рис. 2.1). И эти драгоценные крохи мы нещадно загрязняем и беспечно расходует, при том, что потребление воды непрерывно возрастает.

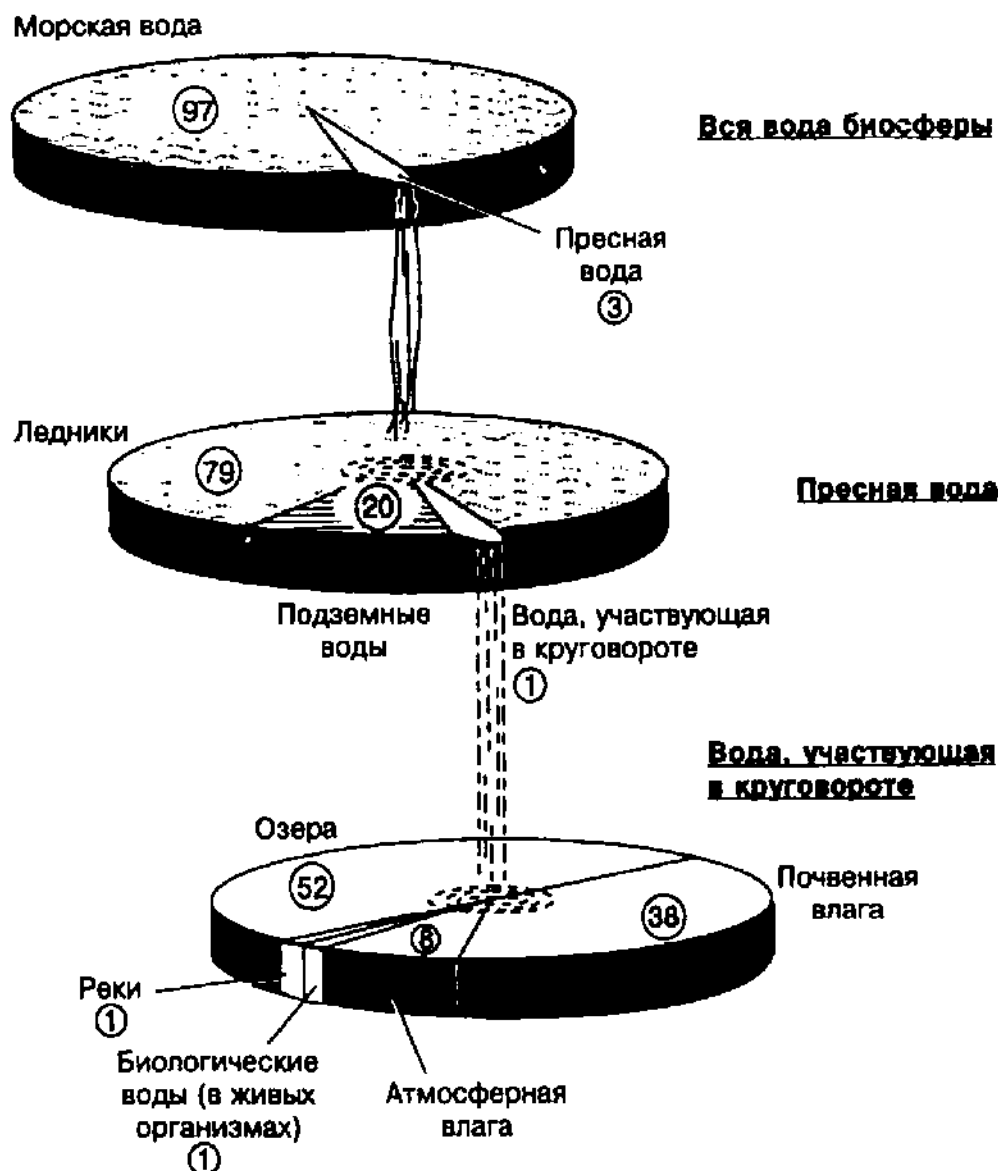


Рис. 2.1. Распределение водных масс в биосфере Земли, %

Большое экологическое значение имеют высокая плотность и вязкость воды. Ее плотность примерно в 800 – 1000 раз выше плотности воздуха. В результате водные организмы (особенно активно передвигающиеся животные) сталкиваются с достаточно мощными силами гидродинамического сопротивления, что направило эволюцию многих групп животных на формирование органов и типов движения, снижающих лобовое сопротивление. В связи с высокой плотностью водной среды ее обитатели лишены обязательной связи с субстратом, характерной для наземных форм и вызванной силами гравитации. В толще Мирового океана сложились комплексы живых организмов, свободно «парящих» в воде и самостоятельно поддерживающих круговорот веществ. Благодаря этому жизнь распространена в гидросфере по всей ее толще, встречаясь даже в самых глубоководных океанических впадинах – на глубине до 11 км.

Основная масса гидросферы приходится на соленые воды Мирового океана, который покрывает 70,8 % поверхности Земли. Средняя высота материков составляет всего 840 м, в то время как средняя глубина Мирового океана – 3800 м. Здесь формируется климат планеты. Океаны занимают гигантские бассейны, глубина которых в некоторых местах удалена от поверхности моря примерно на столько же, на сколько гора Эверест поднимается над уровнем моря.

В океане и морях различают две экологические зоны: толщу воды – **пелагиаль**, и дно – **бенталь**. Кромка берега, заливаемая во время приливов называется **литораль**. Выше этого уровня располагается часть берега, увлажняемая брызгами прибоя – **супралитораль**. Плавно понижающаяся материковая отмель, или *шельф*, с глубинами до 200 м, как правило, узка и занимает только 7,6 % площади Мирового океана. Эта зона называется **сублиторальной**. Далее идет довольно крутой материковый склон с глубинами до 3000 м – **батиаль** (15,2 % площади океана). Вся остальная площадь приходится на ложе океана (**абиссаль**) с глубинами более 3 км. Глубоководные желобы (**ультраабиссаль**) с глубинами более 6 км занимают менее 1 % площади океана. Наиболее глубокие впадины – Марианский желоб в Тихом океане – 11022 м и Пуэрто-Рико в Атлантическом океане – 8742 м.

В зависимости от плотности и давления морских и океанических вод организмы в них делятся на три экологические группы, различающиеся образом жизни.

1. **Бентос** – совокупность организмов, обитающих на дне морей и океанов. Они могут быть сидячими (водоросли, губки, мшанки, асцидии), роющими (кольчатые черви, двусторчатые моллюски), ползающими (иглокожие, ракообразные), свободно плавающими у самого дна (ракообразные, рыбы, головоногие, моллюски и др.). Биомасса бентоса с глубиной быстро падает и, начиная с 4000 м, составляет менее 0,1 г/м².

2. **Планктон** – организмы, находящиеся во взвешенном состоянии в воде. Он состоит из фитопланктона, зоопланктона и бактериопланктона. *Фитопланктон* включает разные группы микроскопических водорослей, бактерий. *Зоопланктон* состоит из таких представителей животного мира, как коловратки, брюхоногие, моллюски, ракообразные. Часто временное участие в составе зоопланктона принимают кольчатые черви, моллюски, ракообразные, иглокожие и другие организмы. *Бактериопланктон* – микроскопические организмы (0,4 –

1 мкм), способные к фотосинтезу при более низком уровне освещенности, чем другие крупные представители фитопланктона.

3. Нектон – организмы, живущие в толще воды и способные активно перемещаться независимо от течений. Для активного передвижения необходимо обладать довольно крупным телом и развитой мускулатурой. Сюда относятся в основном рыбы, головоногие моллюски, китообразные, ластоногие и др.

В гидросфере сосредоточена почти вся масса водорода и кислорода, а также натрия, калия, магния, бора, серы, хлора и брома, соединения которых хорошо растворимы в природных водах. В ней растворено 88 % всей массы углерода биосферы.

2.4. Наземно-воздушная среда

Наиболее сложной по экологическим условиям является наземно-воздушная среда. Здесь, на границе двух земных оболочек, обитает подавляющее большинство растений и животных. Специфику их местообитаний определяет рельеф местности, характер грунта и атмосферные явления.

Основными особенностями наземно-воздушной среды является большая амплитуда изменения экологических факторов, неоднородность среды, действие сил земного тяготения, низкая плотность воздуха. Комплекс физико-географических и климатических факторов, свойственных определенной природной зоне, приводит к эволюционному становлению морфофизиологических адаптаций организмов к жизни в этих условиях, многообразие форм жизни.

В зависимости от условий увлажнения и плодородия почвы растительные сообщества занимают оптимальные местообитания, соответствующие преобладающему древостою. Характер грунта влияет на специфику передвижения животных: каменистый – предъявляет особые требования к конструкции тела животных. Копытные, страусы, дрофы, живущие на открытых пространствах, приспособили свои конечности к твердому грунту для усиления отталкивания при быстром беге. У животных, обитающих на рыхлых сыпучих песках, пальцы окаймлены бахромкой из роговых чешуй, как у некоторых ящериц. У живущего в пустыне Намиб песчаного геккона лапки напоминают плавательные перепонки водоплавающих птиц. Они выполняют функцию своеобразных лыж, с по-

мощью которых он передвигается. В жаркое время дня с их помощью геккон роет себе норы для укрытия. Другие ящерицы, например аптечный сцинк в Сахаре и пустынная игуана в калифорнийских пустынях прямо-таки «плавают», усиленно загребая лапками и погружаясь в песок.

Условия жизни в наземно-воздушной среде во многом определяется погодными условиями. Многолетний режим погоды характеризует климат местности. Он определяется географическими условиями района.

Для большинства наземных организмов важен не столько климат района, сколько условия их непосредственного обитания. Часто на жизнедеятельность организмов большую роль оказывают местные элементы среды (рельеф, экспозиция, растительность), которые принципиально изменяют на конкретном участке режим температуры, влажности, света, движения воздуха и т.п. Такая локальная модификация климата, складывающаяся в приземном слое воздуха, называется *микроклимат*. В каждой климатической зоне микроклиматы очень разнообразны, что отражается в неравномерности развития природных явлений. Так, весьма различается микроклимат северной и южной экспозиции холмов и гористых участков. Микроклимат оголенных почв отличается от такового в местах, занятых растительностью (лесной или луговой). Особый микроклимат возникает в норах, гнездах, дуплах, пещерах и других сходных местообитаниях.

Жизнь на суше во многом зависит также и от состояния воздуха. Естественная смесь газов, сложившаяся в ходе эволюции Земли, – это и есть воздух, которым мы дышим. Следует отметить, что воздух представляет собой смесь газов, а не их соединение. Нужно сказать, 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.

Воздух как среда жизни обладает особенностями, направляющими эволюционное развитие обитателей этой среды. Так, высокое содержание кислорода определяет возможность формирования высокого уровня энергетического метаболизма (обмена веществ между организмом и средой). Атмосферный воздух отличается низкой и изменчивой влажностью, что ограничило возможности освоения воздушной среды, а у ее обитателей – скорректировало эволюцию системы водно-солевого обмена и структуру органов дыхания в соответствии с

новыми условиями. Также следует отметить низкую плотность воздуха в атмосфере как среде жизни, благодаря чему жизнь сосредоточена вблизи поверхности земли, проникая в толщу атмосферы на высоту не более 50 – 70 м (кроны деревьев тропических лесов).

Основными компонентами атмосферного воздуха являются азот – N_2 (78,08 %), кислород – O_2 (20,9 %), аргон – Ar (около 1 %) и углекислый газ (0,03 %) (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Газовый состав земной атмосферы

Элемент и газ	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	0,00009
Оксид азота	0,000001	0,0000003
Оксид углерода	Тысячные доли, в воздухе городов – до 0,000008	0,0000078

Кислород появился на Земле примерно 2 млрд лет тому назад, когда происходило активное формообразование поверхности при активной вулканической деятельности. В настоя-

щее время доля кислорода составляет 21 % ; постепенное возрастание этой доли происходило в течение последних 20 млн лет. Главную роль в этом играло развитие растительного мира суши и океана.

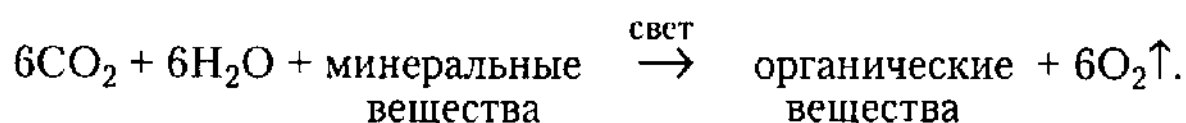
С точки зрения планетолога современная атмосфера Земли представляет собой астрономическое чудо. Потому, что одна пятая ее часть состоит из химически очень активного газа – кислорода, который в земной атмосфере находится в состоянии динамического равновесия. Если бы не жизнедеятельность растений, то исключительно активные молекулы этого элемента вступили бы в различные химические реакции, а, значит, за какие-нибудь 10 тыс. 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.

Таблица 2.2. Состав воздуха на разной высоте от земной поверхности

Высота, км	Кислород, %	Азот, %	Аргон, %	Гелий, %	Водород, %	Давление мм. рт. ст.
0	20,94	78,09	0,93	–	0,01	760
5	20,94	77,89	0,94	–	0,01	405
10	20,99	78,02	0,94	–	0,01	168
20	18,10	81,24	0,59	–	0,04	41
100	0,11	2,97	–	0,56	96,31	0,0067

Как известно, кислород образуется в результате фотосинтеза органических продуктов в растениях и поступает затем в атмосферу. Очень упрощенно этот процесс можно представить как химическую реакцию, протекающую за счет энергии солнечных лучей при участии хлорофилла – зеленого пигмента растений:



Таким образом, за счет диоксида углерода и воды синтезируется органическое вещество и выделяется кислород. Пря-

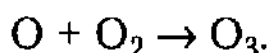
мыми продуктами фотосинтеза являются различные органические соединения. Процесс носит довольно сложный характер.

При дыхании происходит реакция, обратная фотосинтезу. В настоящее время наблюдается примерное сохранение равновесия между производством кислорода и его потреблением. Однако интенсивное потребление кислорода промышленностью и транспортом вызывает опасение нарушить его баланс в окружающей среде.

Атмосфера предохраняет Землю от метеоритной бомбардировки. Большинство метеоритов никогда не достигает земной поверхности, потому что они сгорают при вхождении в атмосферу с огромной скоростью, создавая при этом иллюзию падающих звезд.

Кроме того, атмосфера также способствует сохранению на планете тепла, которое в противном случае рассеивалось бы в холоде космического пространства. Сама же она 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 его трехатомную форму:



Такая трехатомная форма кислорода называется *озоном*. 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. Тонкий слой озона отфильтровывает вредный компонент солнечного излучения – ультрафиолетовые лучи, прямое влияние которых губительно для всего живого. Не будь данного слоя, такое излучение могло бы уничтожить жизнь на Земле. К сожалению, в 80–90-е гг. XX в. наблюдалась негативная тенденция утончения и разрушения озонового экрана.

2.5. Почва как среда обитания

Почва – наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов, естественных и искусственных, зависят в конечном итоге от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли.

Ж. Дорст

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 ей такую оценку: «... почва есть такое же самостоятельное, естественно-историческое тело, как любое растение, любое животное». В.И. Вернадский также считал почву «живым» организмом и назвал ее *биокосным телом*.

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. Эта та грязь, по поводу которой мы часто произносим нелицеприятные выражения. 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: рожает. Уроdit почва – быть урожаю, быть хлебу. Иссякает 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 нее, 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.

В процессе формирования почв возникает характерная слоистость. Эти последовательные слои, четко прослеживаемые в поч-

венном разрезе, называют *горизонтами*. Горизонты составляют профиль почвы. Копая 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. Под пологом древесных насаждений, кроме того, образуется так называемая лесная подстилка, представляющая собой слежавшийся на поверхности почвы слой отмерших и опавших частей растений – листьев, плодов, цветков, коры и небольших веточек. Подстилка играет важную роль в функционировании почв. В лесах с разными преобладающими древесными породами качество, толщина и структура подстилки различны. По массе первое место занимает еловый лес (6 т подстилки на 1 га). В сосновом лесу опадает 4,1, в дубовом – 3,9 и в лиственничном – 2,7 т на 1 га. Наиболее кислой реакцией среды (рН) характеризуется еловая подстилка, щелочностью – дубовая.

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.

Как среда жизни почва занимает промежуточное положение между атмосферой и гидросферой: она обладает структурированностью, здесь возможно обитание организмов, дышащих как по водному, так и по воздушному типу, имеет место вертикальный градиент проникновения света, более резкий, чем в гидросфере.

Все это определяет распространение жизни в почве: микроорганизмы встречаются по всей ее толще, растения связаны лишь с наружными горизонтами (корневая система некоторых деревьев достигает глубины 8 – 10 м), беспозвоночные животные обитают главным образом в верхних горизонтах почвы. Норы и ходы грызунов, насекомых и червей проникают в почву на глубину обычно не более 5 – 7 м. Бактерии находят в подземных водах, сопровождающих залежи нефти на глубине 3 – 5 км. Этим практически ограничивается распространение жизни в «твердой» оболочке Земли – *литосфере*.

Основными свойствами почвы как экологической среды являются: ее физическая структура, механический и химиче-

ский состав, кислотность, окислительно-восстановительные условия, содержание органических веществ, аэрация, влагоемкость и увлажненность. Различные сочетания этих свойств образуют множество разновидностей почв (несколько тысяч), и это требует исключительной грамотности при их использовании. На Земле по распространенности ведущее положение занимают пять типологических групп почв:

- почвы влажных тропиков и субтропиков, преимущественно *красноземы* и *желтоземы*, характеризующиеся богатством минерального состава и большой подвижностью органики;

- плодородные почвы саванн и степей – *черноземы*, *каштановые* и *коричнево-бурые почвы* с мощным гумусовым слоем;

- *скудные* и *крайне неустойчивые почвы* пустынь и полупустынь, относящиеся к различным климатическим зонам;

- относительно бедные почвы лесов умеренного пояса – *подзолистые*, *бурые* и *серые лесные почвы*;

- мерзлотные почвы, обычно маломощные, *подзолистые*, *глеевые*, *обедненные минеральными солями* со слабо развитым гумусовым слоем.

В почве содержатся не только химические элементы, но и различные живые организмы. Особенно много в ней микроорганизмов (бактерий, водорослей, грибов, простейших).

Таблица 2.3. Приблизительное число и вес важнейших групп растений и животных, населяющих почвы Европы (в пересчете на блок площадью 1 м² и глубиной 30 см)

Группа	Число организмов		Масса, г	
	среднее	оптимальное	средняя	максимальная
1	2	3	4	5
Микрофлора (мельчайшие организмы)			50	500
Бактерии	1 блн	1000 блн	50	500
Актиномицеты	10 млрд	10 блн	50	500
Грибы	1 млрд	1 блн	100	1000
Водоросли	1 млн	10 млрд	1	15
Микрофауна (0,002–0,2 мм)				
Жгутиковые (<i>Flagellata</i>)	0,5 блн	1 блн	10	100
Корненожки (<i>Rhizopoda</i>)	0,1 блн	0,5 блн		
Инфузории (<i>Ciliata</i>)	1 млн	100 млн		
Мезофауна (0,2–2,0 мм)				
Коловратки (<i>Rotatoria</i>)	25 тыс.	600 тыс.	0,01	0,3
Нематоды (<i>Nematoda</i>)	1 млн	20 млн	1	20

1	2	3	4	5
Клещи (<i>Acarina</i>)	100 тыс.	400 тыс.	1	10
Ногохвостки (<i>Collembola</i>)	50 тыс.	400 тыс.	0,6	10
Макрофауна (2–20 мм)				
Энхитреиды (<i>Enchitraeidae</i>)	10 тыс.	200 тыс.	2	26
Моллюски (<i>Gastropoda</i>)	50	1000	1	30
Пауки (<i>Araneae</i>)	50	200	0,2	1
Мокрицы (<i>Isopoda</i>)	50	200	0,5	1,5
Двупарногие (<i>Diplopoda</i>)	150	500	4	8
Губоногие (<i>Chilopoda</i>)	50	300	0,4	2
Прочие многоножки (<i>Myriapoda</i>)	100	2000	0,05	1
Жуки и их личинки (<i>Coleoptera</i>)	100	600	1,5	20
Двукрылые (личинки) (<i>Diptera</i>)	100	1000	1	10
Прочие насекомые	150	15000	1	15
Мегафауна (20–200 мм)				
Дождевые черви (<i>Lumbricidae</i>)	80	800	40	400
Позвоночные (<i>Vertebrata</i>)	0,001	0,1	0,1	10

В одной только чайной ложке почвы их насчитывается много миллионов! В табл. 2.3 показана характеристика почвы по составу почвенных животных и растений. 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 образованием, 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.

Условия почвенной среды обитания определяют такие свойства почвы, как ее аэрация (т.е. насыщенность воздухом), влажность (присутствие влаги), теплоемкость и термический режим (суточный, сезонный, многолетний ход температур). Термический режим, по сравнению с наземно-воздушной средой, более консервативный, особенно на большой глубине. В целом, почва отличается довольно устойчивыми условиями жизни.

Для почвенных организмов характерны специфические органы и типы движения (роющие конечности у млекопитающих; способность к изменению толщины тела; наличие специализированных головных капсул у некоторых видов); формы тела; прочные и гибкие покровы; редукция глаз и исчезновение пигментов. Среди почвенных обитателей широко развита сапрофагия – поедание трупов других животных, гниющих остатков и т.д.

Почва – главный фундамент жизни. Все живое на Земле зависит от этого тонкого, драгоценного, жизнеродящего слоя. Земля накапливала его многие тысячелетия с очень медленной скоростью: 1 см чернозема за 100, а иногда и за 300 лет. Человек же разрушает почву на глубину 1 см за 3 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.

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.

2.6. Живые организмы как среда обитания

*Натуралистами открыты
У паразитов паразиты,
И произвел переполох
Тот факт, что блохи есть у блох.
И обнаружил микроскоп,
Что на клоне бывает клон,
Питающийся паразитом,
На нем другой – ad infinitum*

Джонатан Свифт

Организм может также служить средой обитания – для паразитов и симбионтов (симбиоз – совместное, взаимовыгодное сожительство организмов). Например, человеческий орга-

низм является средой обитания для огромного числа различных симбионтов (прежде всего, нормальной микрофлоры кишечника), а нередко, и паразитов (разнообразных плоских и круглых червей, простейших).

Использование одних организмов другими в качестве среды обитания – явление древнее и широко распространенное в природе. Существование внутриклеточных паразитов отмечено у большого числа одноклеточных форм – водорослей, амёб, инфузорий и др. Практически нет ни одного вида многоклеточных организмов, не имеющих внутренних обитателей. Усложнение организации организма-хозяина ведет к разнообразию предоставляемых им условий для существования паразитов. В природе в качестве паразитов чаще всего встречаются микроорганизмы и примитивные многоклеточные, поскольку способность одних организмов использовать другие как среду обитания уменьшается с усложнением организации первых.

Паразитизм – это форма взаимоотношений между организмами разных видов, которые носят антагонистический характер. **Паразитом** называется организм, использующий другой организм (хозяина) в качестве источника пищи и среды обитания. Паразит живет за счет особей другого вида и тесно связан с ними в своем жизненном цикле. Паразиты питаются соками тела, тканями или переваренной пищей своих хозяев. При этом паразит не умерщвляет своего хозяина, поскольку в противном случае он лишился бы источника существования.

Различают паразитов **облигатных** (обязательных) и **факультативных** (необязательных). Облигатные паразиты абсолютно неспособны жить и размножаться без питания тканями или соками данного хозяина вне его организма. Примером могут служить многочисленные кишечные паразиты – аскариды, острицы, солитеры и др. Факультативные паразиты способны жить и размножаться самостоятельно, не обязательно питаясь тканями и соками хозяина. Например, многие ведут как хищнический, так и паразитарный образ жизни.

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 **эндопаразитов**. Это различные вирусы, бактерии, гельминты и др.

Паразитизм известен на всех уровнях организации живого, начиная вирусами и кончая высшими растениями и многокле-

точными 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, — большая редкость. 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 пользуются особыми экологическими преимуществами в жизненных условиях по сравнению с другими животными. Прежде всего, главное их преимущество — обильное снабжение пищей за счет содержимого клеток, соков и тканей хозяина. Быстрый рост паразитов обеспечивается обильным и легкодоступным питанием.

Еще одно преимущество — защищенность паразитов от воздействия факторов среды и других организмов. Колебания условий внешней среды не сказываются на их жизнедеятельности. Паразиты защищены от врагов. Все это приводит к потере паразитами целых систем органов. У многих из них отсутствует пищеварительная система, редуцирована нервная.

Наконец, паразитам присуща громадная плодовитость по сравнению со свободно живущими формами. Такая особенность этих организмов получила название «закон большого числа яиц». Например, человеческая аскарида продуцирует в среднем 250 тыс. яиц за сутки, а за всю жизнь — свыше 50 млн. Масса яиц, отложенных одной самкой аскариды за год, в 1700 раз превышает ее собственную массу.

При выходе из хозяина во внешнюю среду у паразитов развиваются защитные приспособления, позволяющие им пережить этот критический период. Яйца их покрываются многослойными оболочками, многие образуют цисты, ряд личинок нематод впадает в анабиоз.

Пути проникновения паразитов 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 °С, 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. Некоторые из них 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 определенные 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, на помощь паразиту приходят промежуточные хозяева. 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 начнет сначала.

Взаимоотношения между человеком и различного рода паразитами установились с незапамятных времен. Ко многим паразитам человеческий организм приобрел невосприимчивость, но против некоторых, таких, как переносчики туберкулеза, сифилиса, гриппа еще не найдено эффективного противоядия. Следуя поговорке, что болезнь легче предупредить, чем лечить, человек наконец-то понял, что истинная причина большинства болезней – это нарушение экологической среды.

Болезни 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 бы-

ли необыкновенно здоровыми, так как у них выработался стойкий иммунитет к местным заболеваниям. Однако они оказались совершенно беззащитными против болезней, принесенных 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. Иногда он настолько спешит, что присасывается к корням своих собратьев – таких же погремков.

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 др.

Много внутриклеточных паразитов среди низших грибов – это различные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных грибов.

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 пчеле, нимало не заботится о благополучной жизни последней, так же, как и наездник *Pleolophus basizonus*, который нападает на коконы европейского соснового пилильщика *Neodiprion sertifer*.

Строго говоря, организмы, убивающие своего хозяина, являются не паразитами, а паразитоидами. **Паразитоиды** – организмы, которые ведут паразитический образ жизни на личиночной (неполовозрелой) стадии, например некоторые 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. Считается, что к паразитоидам относятся около 25 % всех обитающих на земле видов.

Примером могут служить наездники-эвхаритиды (*Euchari-tidae*) – паразитоиды муравьев. Каждый их вид вступает в симбиоз только с одним видом-хозяином. Жизненный цикл этих перепончатокрылых демонстрирует высокоразвитую химическую мимикрию (подражательное сходство). Наездник откладывает яйца на часто посещаемое муравьем растение. Вылупляющиеся личинки, называемые планидами, прикрепляются к проходящим мимо рабочим муравьям и переносятся ими в гнездо – к муравьиным личинкам.

Кормятся планиды в основном куколками хозяев. Муравьи не способны отличить паразитоидов от собственного расплода, поскольку пахнут они точно так же. Очевидно, личинки наездников «заимствуют» запах у муравьев, а не синтезируют его компоненты сами, поскольку у взрослых наездников, вылетевших из гнезда хозяина, их уже не обнаружено.

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

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 откладыва-

ют 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».

Таким образом, отличие паразита от паразитоида состоит в том, что паразиты стараются большей частью не убивать своего хозяина, иначе они неминуемо погибнут сами. Паразитоиды же целенаправленно убивают хозяина, питаясь его тканями в процессе своего созревания (взросления).

В ходе эволюции между паразитами и их хозяевами выработались специфические взаимоотношения. Прежде всего, агрессивная изощренность паразитов постоянно наталкивалась на оборонительную изобретательность хозяев. Это заставляло последних постоянно прибегать к поиску новых разнообразных стратегий самообороны, в противном случае им грозило вымирание. По мнению биологов, соревнование за выживание между паразитами и их хозяевами имеет глубокий биологический смысл, поскольку в противостоянии паразитам у животных и растений возникали все новые генные вариации, что, в конечном счете, со временем приводило к возникновению новых видов.

Живые организмы зачастую энергично реагируют и успешно противостоят воздействию со стороны паразитов. Такое сопротивление паразитам получило название *активного иммунитета*. Например, в крови хозяина вырабатываются специфические белковые вещества, антитела, подавляющие действие паразитов. Зачастую организм хозяина реагирует на проникновение паразита разрастанием окружающих его тканей. Образуются своеобразные капсулы, изолирующие паразита. Такие образования у животных получили название *зооцецидий*, а у растений — *галлы*.

В свою очередь, паразиты часто демонстрируют удивительную изобретательность, чтобы преодолеть биохимические барьеры организма-хозяина и создать благоприятные условия для проживания своего потомства в теле жертвы. Например, личинки ланцетовидной печеночной двуустки —

плоского червя из класса трематод – активно размножаются в печени овцы или другого травоядного животного. Для продолжения рода они всего лишь должны каким-то образом попасть в организм хозяина. Используют они для этого таких переносчиков, как трудолюбивые муравьи. Проникая в тело муравья, они внедряются в его нервную систему и, манипулируя ею, заставляют насекомое вскарабкиваться на стебли травы и намертво вгрызаться в них. Казалось бы, для муравьев это совершенно бессмысленное занятие. Но не для двуусток. У них появляется шанс попасть в организм овцы вместе с поедаемыми ею растениями.

Весьма оригинальную стратегию выживания разработала калифорнийская трематода (сосальщик) эвгаплорхис. Цикл ее развития недавно тщательно был изучен учеными. Во время морского прилива прибрежные луга заливаются соленой водой. Здесь обитают улитки, в организме которых часть жизни проводит эвгаплорхис. Для нее это всего лишь перевалочный пункт. Конечная цель – попадание в организм цапли. Для этого она использует принесенных приливом карповых рыб, которых с удовольствием поедают птицы. Однако карпы, чтобы не попасть на обед цапле, предпочитают держаться ближе ко дну, где шанс быть съеденными минимален. До чего же «додумалась» эвгаплорхис? Паразит инстинктивно прибегает к приему, который выработался у него в ходе эволюции. Проникая в организм рыбы, эвгаплорхис, продвигаясь по клеткам мозга, «программирует» так поведение карпа, чтобы тот всплывал на поверхность. Здесь и поджидает его цапля, в организме которой эвгаплорхис размножается. Затем потомство с пометом выводится наружу и снова попадает на заливные прибрежные луга к улиткам. Таким образом червь совершает свой жизненный цикл.

Зачастую средой обитания растений служат другие растения. Такое явление, при котором одни растения используют другие (в основном стволы и ветви) в качестве среды обитания, но не паразитируют на них, называется **эпифитизм**, а поселяющиеся организмы – **эпифиты** (от греч. «эпи» – на, над, сверх и «фитон» – растение). В данном случае растения-эпифиты получают питательные вещества из окружающей среды, а не из тела растения-хозяина, как паразиты. У эпифитов выработались приспособления для улавливания воды и минеральных солей из воздуха. К эпифитам относятся среди прочих растения из семейства орхидных и бромелиевых, а также папоротники, обитающие во влажнотропических лесах, мхи и лишайники, поселяющиеся на стволах наших древесных пород.

2.7. Круговорот веществ и биогеохимические циклы важнейших химических элементов в биосфере

В великом природном круговороте к нам постоянно возвращается та же самая вода. Глоток воды из горной речушки содержит капли из колодцев Авраама, купальни Клеопатры и системы охлаждения ядерного реактора.

Рольф Эдберг

Круговорот воды, а также круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в биосфере называют *круговоротом веществ*. Это многократное участие веществ в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере и литосфере. Деятельность живых организмов сопровождается извлечением из окружающей их неживой природы больших количеств минеральных веществ. После смерти организмов составляющие их химические элементы возвращаются в окружающую среду. Так возникает круговорот веществ в природе, т.е. циркуляция веществ между атмосферой, гидросферой, литосферой и живыми организмами. Таким образом накапливаются полезные ископаемые – уголь, нефть, газ, известняки и т.п.

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 только 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 1 день. Полная смена вод в гидросфере осуществляется за 2800 лет, смена кислорода в атмо-

сфере – за несколько тысяч лет (до 3000), а углекислого газа – за 6,3 года. Общепланетные 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 с водными растениями и планктоном. 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 Земли на 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 приносит 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;
- 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 круговороты воды, углерода, кислорода, азота, фосфора, серы.

Круговорот воды. 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.

Интересно, что объем первоначальных запасов воды на Земле практически не изменился. Сколько бы раз вода ни употреблялась человеком для своих нужд, общее количество ее на Земле не уменьшается. Благодаря «водяному колесу природы» – круговороту – водные молекулы постоянно циркулируют между океаном, атмосферой и земной поверхностью. В результате этого гидросфера стала планетарной транспортной системой, а также планетарным аккумулятором органического, неорганического вещества и различных химических элементов.

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. За счет притока солнечной энергии вода испаряется с поверхности морей и океанов, а также суши. Атмосферные осадки, выпавшие на суше, частью просачиваются в почву и образуют подземный сток, частью стекают по земной поверхности, образуя ручьи и реки, а в остальной части снова испаряются, в том числе и через процесс *биологического испарения*, связанного с жизнедеятельностью растений (транспирация) и животных. В конце концов она снова достигает океана, завершая **большой круговорот** воды на земном шаре.

В среднем в год с поверхности всех водоемов испаряется порядка 519 тыс. км³ воды в год. Более 90 % ее 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 ко-

личества 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, часть воды используется машинами, механизмами и промышленностью и возвращается в биосферу в виде пара и отработанной технической воды (рис. 2.2).

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 1 га березового леса ежедневно испаряется 47 тыс. л воды, а с 1 га елового леса – около 43 тыс. 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.

Вода, будучи сильнейшим растворителем, играет огромную роль в геохимических процессах. Промывая толщи горных пород,

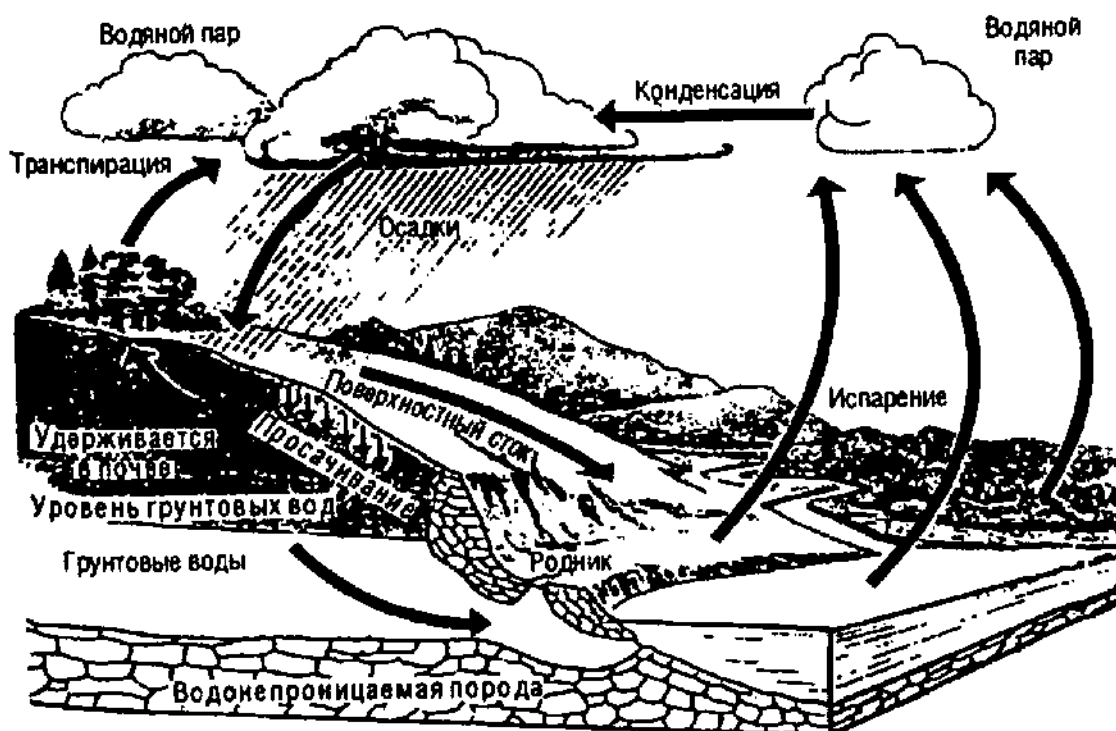


Рис. 2.2. Гидрологический цикл и накопление воды

она вовлекает в круговорот большую часть химических элементов Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. На Земле нет дистиллированной воды. Любая вода содержит растворенные соли, газы, органические и коллоидные вещества. Совместно с циркуляцией воды в биосфере растворенные в ней элементы также участвуют в круговороте. Количество растворенных веществ варьирует в очень широких пределах. Минерализация может составлять от миллиграммов до почти 600 г/дм³. Пресными называют воды с минерализацией до 1 г/дм³.

Важнейшую роль в биосфере играют биогеохимические круговороты таких элементов, как *углерод, кислород, азот, фосфор, сера*.

Круговорот углерода. Углерод по распространению на Земле занимает 16-е место среди всех элементов. В наиболее общем виде круговорот углерода можно представить как процесс освобождения и связывания диоксида углерода (CO₂), включая его растворение в воде океанов (рис. 2.3).

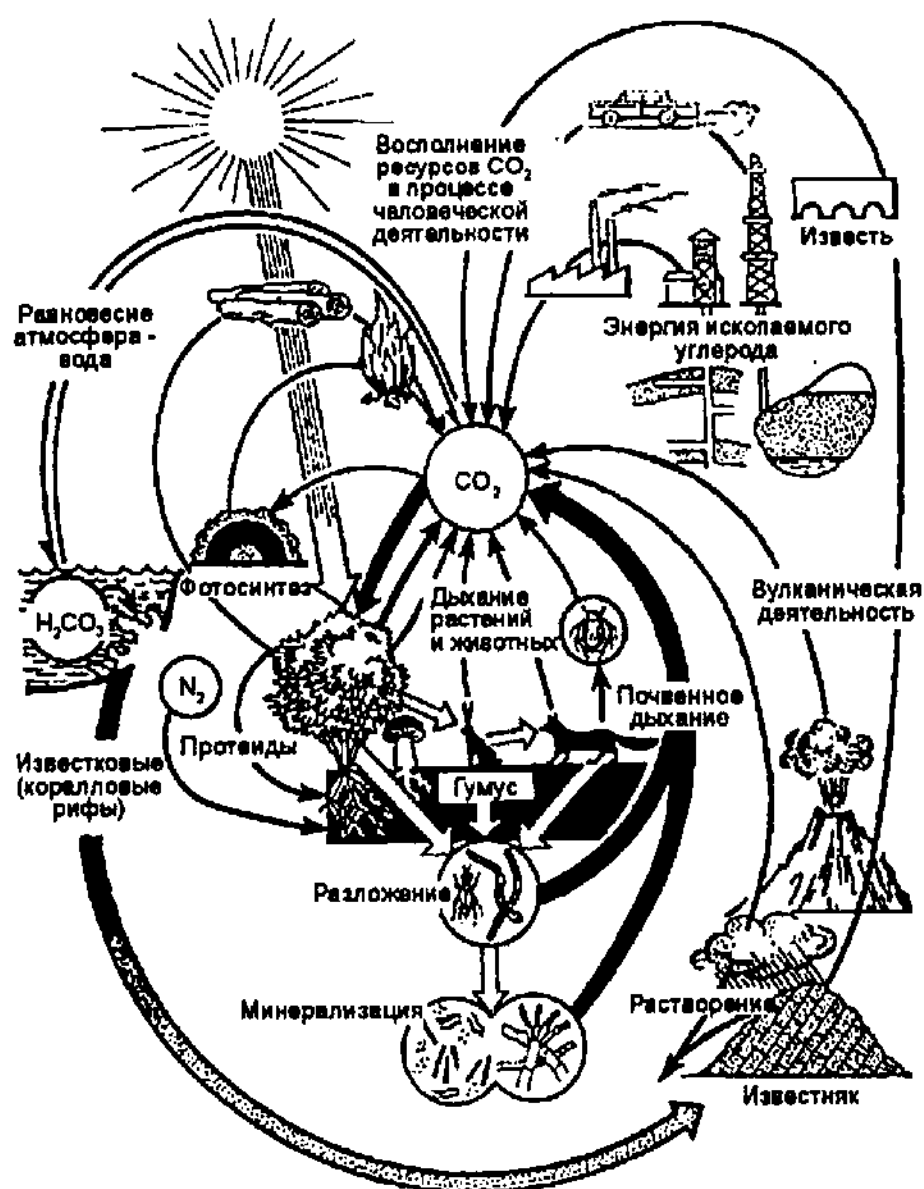


Рис. 2.3. Круговорот углерода в биосфере

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. В атмосфере его содержится 0,046 % в форме углекислого газа и 0,00012 % 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 и в животной и растительной биомассах. Основные запасы углерода в природе содержатся в минералах и горных породах главным образом в форме карбонатов (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.

В несвязанном состоянии углерод встречается в виде алмазов (наибольшие месторождения в Южной Африке и Бразилии) и графита (наибольшие месторождения в Германии, Шри-Ланке и России). Каменный уголь содержит до 90 % углерода. В связанном состоянии углерод входит также в разные горючие ископаемые, в карбонатные минералы, например в кальцит и доломит, а также в состав всех биологических веществ.

Углекислый газ, содержащийся в воздухе и воде, составляет запас углерода, участвующего в создании биомассы. Содержание CO_2 в атмосфере нестабильно (менее 1 %), и подвержено сезонным изменениям. В настоящее время наблюдается его увеличение, связанное с антропогенным воздействием. Если 100 лет назад содержание углекислого газа составляло примерно 270 частей на 1 млн, то сегодня эта цифра выросла до 350 частей на 1 млн.

Также 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 про-

цессе 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 углерода 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 биологического круговорота участвует около 98–99 % ассимилированного углерода.

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 образования своих скелетов. В дальнейшем остатки отмерших морских организмов опускаются на дно морей и океанов и образуют мощные отложения известняков. Между углекислым газом атмосферы и водой океана существует подвижное равновесие. Организмы поглощают углекислый кальций, создают свои скелеты, а затем из них образуются пласты известняков.

Проследим «путешествие» атома углерода, одного из мириад себе подобных, в биосфере. Произошло 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 растение или дерево бесцеремонно захватывают его, вовлекают в процесс фотосинтеза и превращают в более восстановленную химическую форму. Если же наш 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 100 млн 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.

Наличие углерода непосредственно связано с наличием кислорода, поскольку на каждую молекулу кислорода должна где-то существовать и молекула восстановленного углерода. Это позволяет оценивать запасы углерода в биосфере величинной 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 кислорода. От его содержания зависит количество растворенных гидрокарбонатов, т.е. жесткость воды. Если содержание 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 и других системах, использующих воду. В природных условиях результатом этой реакции является образование полостей в земной коре, сталактитов и сталагмитов.

Круговорот кислорода является очень сложным циклом. В него вовлечено большое количество представителей органического и неорганического мира, а также водород и вода, растворяющая кислород (рис. 2.4). Кислород постоянно циркулирует в океане, биосфере и осадочных породах. Содержание кислорода в воде зависит от его растворимости на поверхности 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.

Кислород является самым распространенным элементом на Земле. В гидросфере его содержится 85,82 % по массе, в литосфере – 47 %, в атмосфере – 23,15 %. Кислород стоит на первом месте по числу образуемых им минералов (1364). Среди них преобладают силикаты, кварц, оксиды железа, карбонаты и

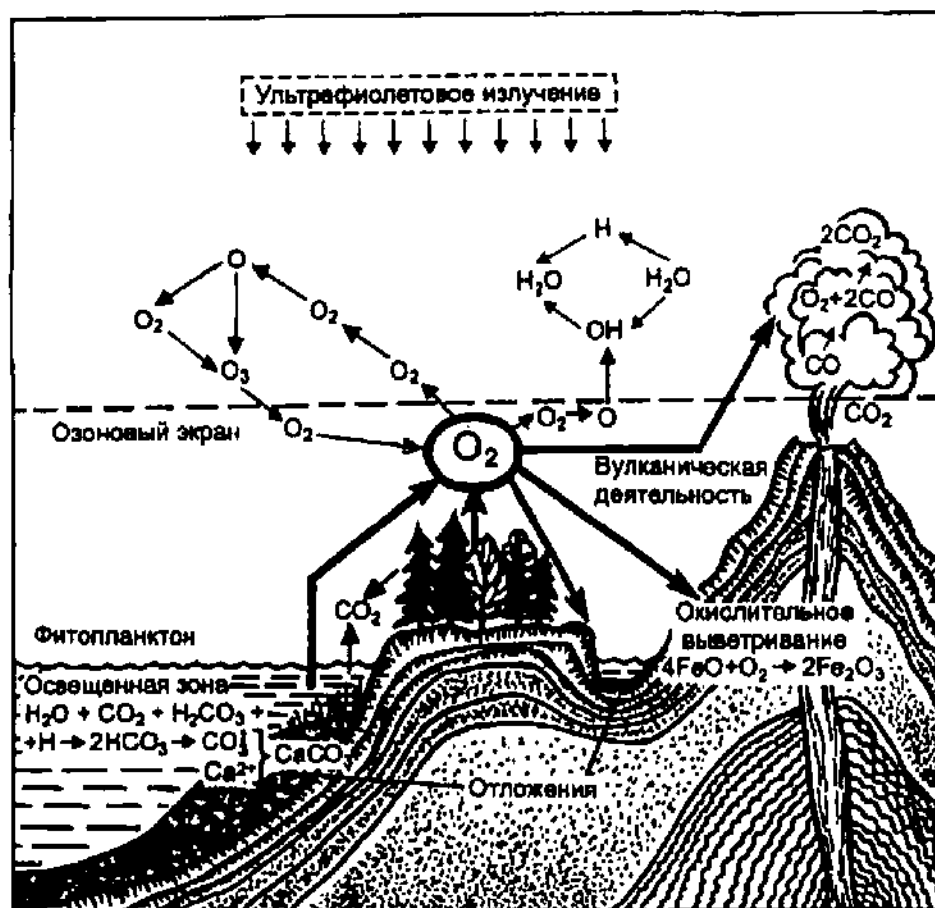


Рис. 2.4. Круговорот кислорода в биосфере

сульфаты. В живых организмах содержится в среднем около 70 % кислорода. Он входит в состав большинства органических соединений (белков, жиров, углеводов и т.д.) и в состав скелета.

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

Одной из самых негативных сторон существования современной цивилизации является то, 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 получаем все меньше кислорода. Леса тропиков вырубаются сейчас со скоростью 23 га/мин, или более $1/3$ га/с! 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 1 тыс. км 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 производится $1,55 \cdot 10^9$ 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 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 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 (от греч. – «безжизненный»). Почему же так получается? Дело в том, что в воздухе азот находится в молекулярном

состоянии, т.е. 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.

Исключением является техногенное поступление азота в атмосферу. Это происходит в результате выбросов автомобильного транспорта, тепловых электростанций, котельных, промышленных предприятий. При сжигании ископаемого топлива (нефть, уголь, газ) происходит выброс в атмосферу оксидов азота (N_2O , NO_2), которые являются загрязнителями окружающей среды.

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

Основными стадиями круговорота азота являются фиксация, аммонификация, нитрификация и денитрификация (рис. 2.5).

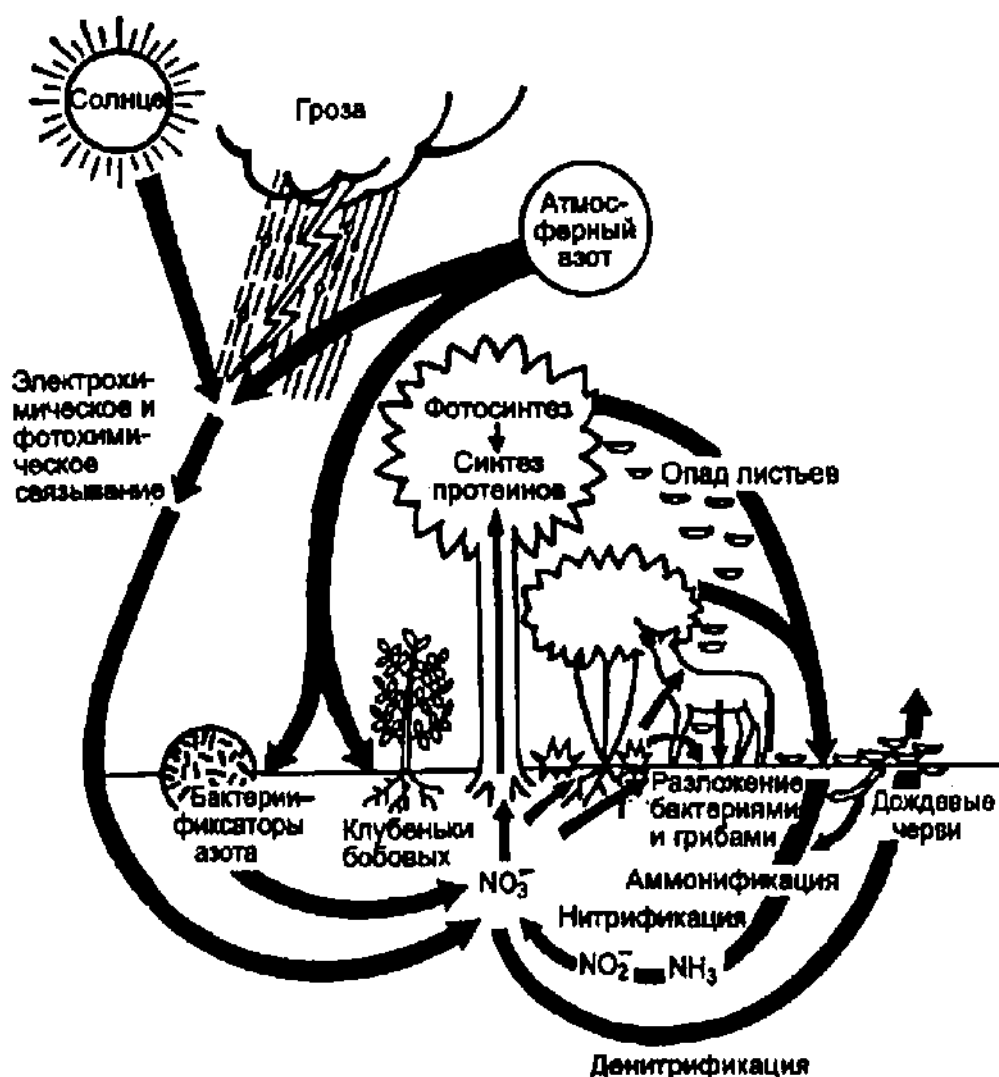


Рис. 2.5. Круговорот азота в биосфере

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 свободноживущими азотфиксирующими бактериями – азотобактером, цианобактериями и другими, а также азотфиксаторами, живущими в симбиозе (совместное сожительство) с высшими растениями, например клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений, таких, как арахис, соя, чечевица, фасоль, люцерна, клевер, люпин и др. Фиксируя атмосферный азот, они снабжают растение-хозяина доступными для него соединениями азота в виде нитратов и нитритов.

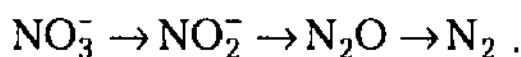
Корни бобовых растений вступают в симбиоз с живущими в почве клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium*. Эти бактерии обладают удивительной способностью улавливать азот из воздуха и перерабатывать в нитрат аммония. В обмен на сахар и безопасный приют в корневых клубеньках бобовых бактерии обильно снабжают их готовыми растворимыми соединениями азота.

В таких симбиотических системах азот становится доступен растениям в виде иона аммония (NH_4^+). После отмирания растений и разложения клубеньков почва обогащается органическими и минеральными формами азота. Азотсодержащие органические вещества отмерших растений и животных, а также мочевины и мочевая кислота, выделяемая животными и грибами, расщепляются гнилостными бактериями до аммиака. Такой процесс получил название **аммонификации**.

Нитрификация заключается в том, что часть аммиака может поглощаться в виде иона аммония NH_4^+ непосредственно растениями, часть вымывается из почвы, а оставшийся аммиак окисляется специализированными нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов, которые вновь используются растениями. Процесс нитрификации выражается следующей схемой:



Различные формы азотистых соединений почвы и водной среды могут восстанавливаться некоторыми бактериями до оксидов и молекулярного азота. Этот процесс называется **денитрификацией**. Денитрификация происходит за несколько этапов:



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

Почвенные азотфиксирующие организмы оставались малоизученными вплоть до конца XIX в. Ученые даже опасались, что денитрифицирующие бактерии, как раз в то время открытые, постепенно исчерпают запас фиксированного азота в почве и снизят плодородие. В своей речи перед Королевским обществом в Лондоне У. Крукс набросал мрачную картину голода, который ожидает человечество в недалеком будущем, если не появятся искусственные способы фиксации азота. В то время главным источником селитры и для производства удобрений, и для выработки взрывчатых веществ были залежи в Чили. Именно потребность во взрывчатых веществах стала главным стимулом для химиков. В 1914 г. немецкие химики Ф. Габер и К. Бош предложили каталитический метод промышленной фиксации азота.

После того как круговорот азота был в общих чертах изучен, стала понятна роль бактерий-денитрификаторов. Без таких бактерий, возвращающих азот в атмосферу, большая часть атмосферного азота находилась бы сейчас в связанной форме в океане и в осадочных породах. В настоящее время в атмосфере, разумеется, недостаточно кислорода для перевода всего свободного азота в нитраты. Но вполне вероятно, что односторонний процесс в отсутствие денитрификаторов привел бы к подкислению воды в океане нитратами. Началось бы выделение диоксида углерода из карбонатных горных пород. Растения постоянно извлекали бы диоксид углерода из воздуха, углерод с течением времени откладывался бы в форме каменного угля или других углеводородов, а свободный кислород насыщал бы атмосферу и соединялся с азотом. Из-за многообразия и сложности всех этих процессов трудно сказать, как выглядел бы мир без реакции денитрификации, но наверняка это был бы непривычный для нас мир.

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.

В прежние времена, когда не существовало массового производства искусственных удобрений и не выращивались на

больших площадях азотфиксирующие бобовые культуры, количество азота, удаляемого из атмосферы в процессе естественной фиксации, видимо, вполне уравнивалось его возвратом в атмосферу в результате деятельности организмов, превращающих органические нитраты в газообразный азот. Сейчас мы не уверены в том, что процессы денитрификации поспевают за процессами фиксации. Неизвестно, какие последствия повлечет за собой длительный перевес фиксации над денитрификацией. Мы знаем, что чрезмерный вынос азотистых соединений в реки может вызвать «цветение» водорослей и в результате усиления их биологической активности вода может лишиться кислорода, что вызовет гибель рыбы и других нуждающихся в кислороде организмов. Самый известный пример этому – быстрая эвтрофикация озера Эри, входящего в систему Великих озер США.

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. В биосфере преобладают соединения пятивалентного фосфора, поэтому обычно во всех источниках приводится содержание его оксида P_2O_5 (рис. 2.6).

Среднее содержание фосфора в земной коре составляет 0,09 %. Основные запасы его находятся в горных породах, в донных отложениях морей и океанов, в гумусовом горизонте наземных и подводных почв. Главное геохимическое направление мирового круговорота соединений фосфора нацелено в сторону озер, устьев рек, морей и шельфа океана. Не образующий летучих соединений фосфор имеет тенденцию накапливаться в море. Вынос фосфора из моря на сушу осуществляется в основном с рыбой и пометом морских птиц.

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 1 га 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.

Внесение в почву фосфорных удобрений является одним из важнейших мероприятий по повышению урожайности. Ежегодно в мире добывают приблизительно 125 млн т фос-

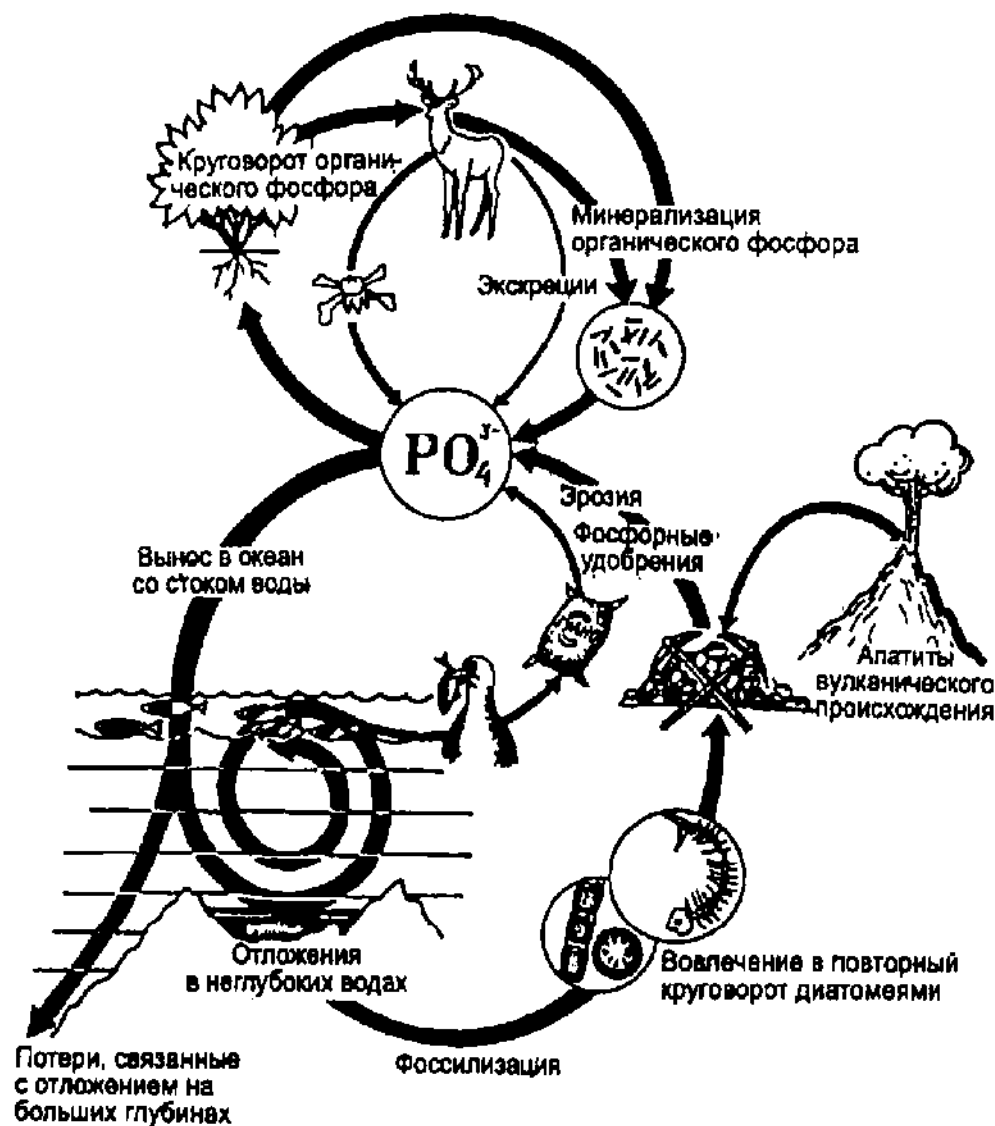


Рис. 2.6. Круговорот фосфора в биосфере

фатной руды. Большая ее часть расходуется на производство фосфатных удобрений.

Хранилищем фосфора, как мы уже указывали выше, служат залежи его соединений в горных породах. Вследствие вымывания он попадает в речные системы, и часть его используется растениями, а часть уносится в море, где оседает в глубоководных отложениях. Кроме того, в мире ежегодно добывается от 1 до 2 млн т фосфорсодержащих пород. Большая часть этого фосфора также вымывается и исключается из круговорота. Благодаря лову рыбы часть фосфора возвращается на сушу в небольших размерах (около 60 тыс. т элементарного фосфора в год).

Исследования многих ученых показывают, что в почвах и водах почти всегда ощущается дефицит фосфора. Поэтому соединения фосфора, как и азота, являются важнейшими минеральными удобрениями 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 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. 2.7). В виде органических и неорганических соединений сера постоянно присутствует во всех живых организмах и является важным биогенным элементом, она входит в состав широко распространенных соединений: белков, аминокислот, коферментов, витаминов.

Соединения серы участвуют в биохимических процессах живой клетки, формировании химического состава почв. В боль-

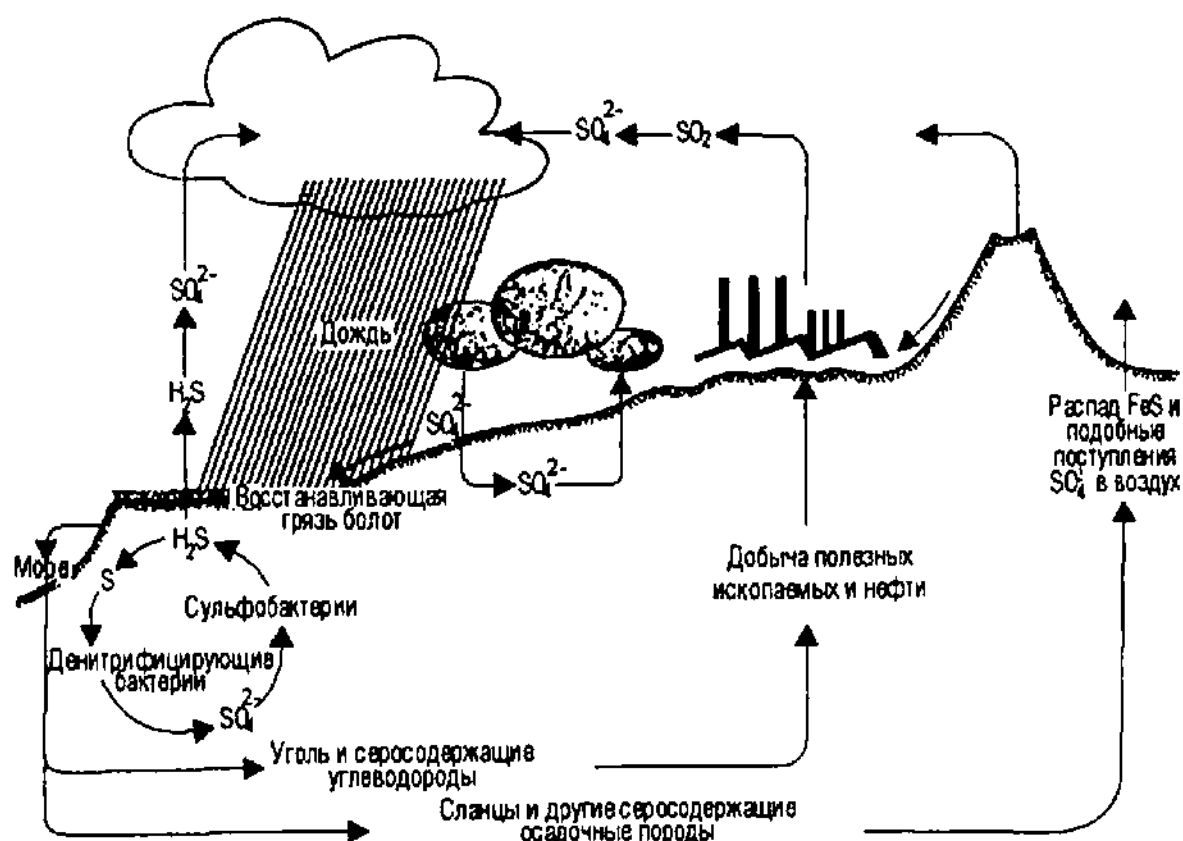


Рис. 2.7. Круговорот серы в биосфере

ших 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%. Сера в виде SO_2 , SO_3 , H_2S и элементарной серы выбрасывается вулканами в атмосферу. В природе она образует минералы, называемые сульфидами. Очень много серы в изверженных горных породах в виде сульфидных минералов. При окислении сульфидных минералов сера в виде иона SO_4^{2-} попадает в Мировой океан, где поглощается морскими организмами. Отдельные виды морских обитателей известны как рекордсмены по накоплению серы (так, некоторые моллюски северных морей выделяют пищеварительными железами жидкость, в которой содержится до 4% серной кислоты). Круговорот серы в морской воде происходит с помощью сульфат-редуцирующих 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 в своих организмах элементарную серу. 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/г. Естественное ее поступление (в форме оксидов серы) оцениваются цифрами 80–280 млн т/г. Если брать нижние границы, то можно считать, что глобальный объем естественных выбросов серы примерно соответствует ее техногенным эмиссиям.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

*Присутствие непостижимой силы
Таинственно скрывается во всем;
Есть мысль и жизнь в безмолвии ночном,
И в блеске дня, и в тишине могилы,
В движении бесчисленных миров,
В торжественном покое океана,
И в сумраке задумчивых лесов,
И в ужасе степного урагана,
В дыхании прохладном ветерка,
И в шелесте листов перед зарею,
И в красоте пустынного цветка,
И в ручейке, текущем под горою.*

Иван Никитин

3.1. Понятие об экологических факторах

Комплекс окружающих условий, влияющих на жизнедеятельность организмов, складывается из разнообразных элементов – **факторов среды**. Под факторами среды понимают экологические факторы, т.е. воздействие условий среды, на которые живое реагирует приспособительными реакциями. *Экологический фактор* – это воздействие любого элемента *природной среды*, оказывающего прямое или косвенное влияние на живые организмы хотя бы на протяжении одной из фаз их развития.

Экологические факторы – все составные (элементы) естественной среды, которые влияют на существование и развитие организмов. На них живые существа реагируют реакциями приспособления (за пределами способности приспособления наступает смерть).

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, пирогенные (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Классификация экологических факторов среды

Абиотические факторы	Биотические факторы
Климатические: солнечная радиация, свет и световой режим, температура, влажность, атмосферные осадки, ветер, атмосферное давление и др. Эдафические: механическая структура и химический состав почвы, влагоемкость, водный, воздушный и тепловой режим почвы, кислотность, влажность, газовый состав, уровень грунтовых вод и др. Орографические: рельеф, экспозиция склона, крутизна склона, перепад высот, высота над уровнем моря Гидрографические: факторы водной среды – прозрачность воды, текучесть, проточность, температура, кислотность, газовый состав, содержание минеральных и органических веществ и т.п. Химические: газовый состав атмосферы, солевой состав воды Пирогенные: воздействие огня	Фитогенные: влияние растений друг на друга и на окружающую среду Зоогенные: влияние животных друг на друга и на окружающую среду

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) и **зоогенные** (от греч. «зоон» – животное). К этой же группе биотических факторов можно отнести и интенсивное влияние человека (непосредственно) или человеческой деятельности (опосредованно) на окружающую среду и живые организмы. Такие факторы воздействия на окружающую среду носят название **антропогенные** (от греч. «антропос» – человек).

Отнесение антропогенных факторов к группе биотических оправдано тем, что человек является биологическим видом, а, следовательно, воздействует на среду как живой организм. Однако подавляющее большинство экологов выделяет антропогенные факторы в отдельную группу, мотивируя такое разделение тем, что воздействие человека на окружающую среду стало мощной преобразующей силой и достигло глобального размаха. Человек видоизменяет живую и неживую природу и берет на себя в известном смысле геохимическую роль (например, извлекает из недр Земли полезные ископаемые, такие, как уголь и нефть, т.е. законсервированный углерод, и преобразует его в углекислый газ, изменяя тем самым газовый баланс биосферы). В.И. Вернадский по этому поводу говорил, что воздействие человека становится мощнейшим геологическим фактором.

Антропогенный фактор – влияние, оказываемое человеком и его деятельностью на организмы, биогеоценозы, ландшафты, биосферу (рис. 3.1).

Различают четыре вида основных антропогенных факторов:

- изменение структуры земной поверхности;

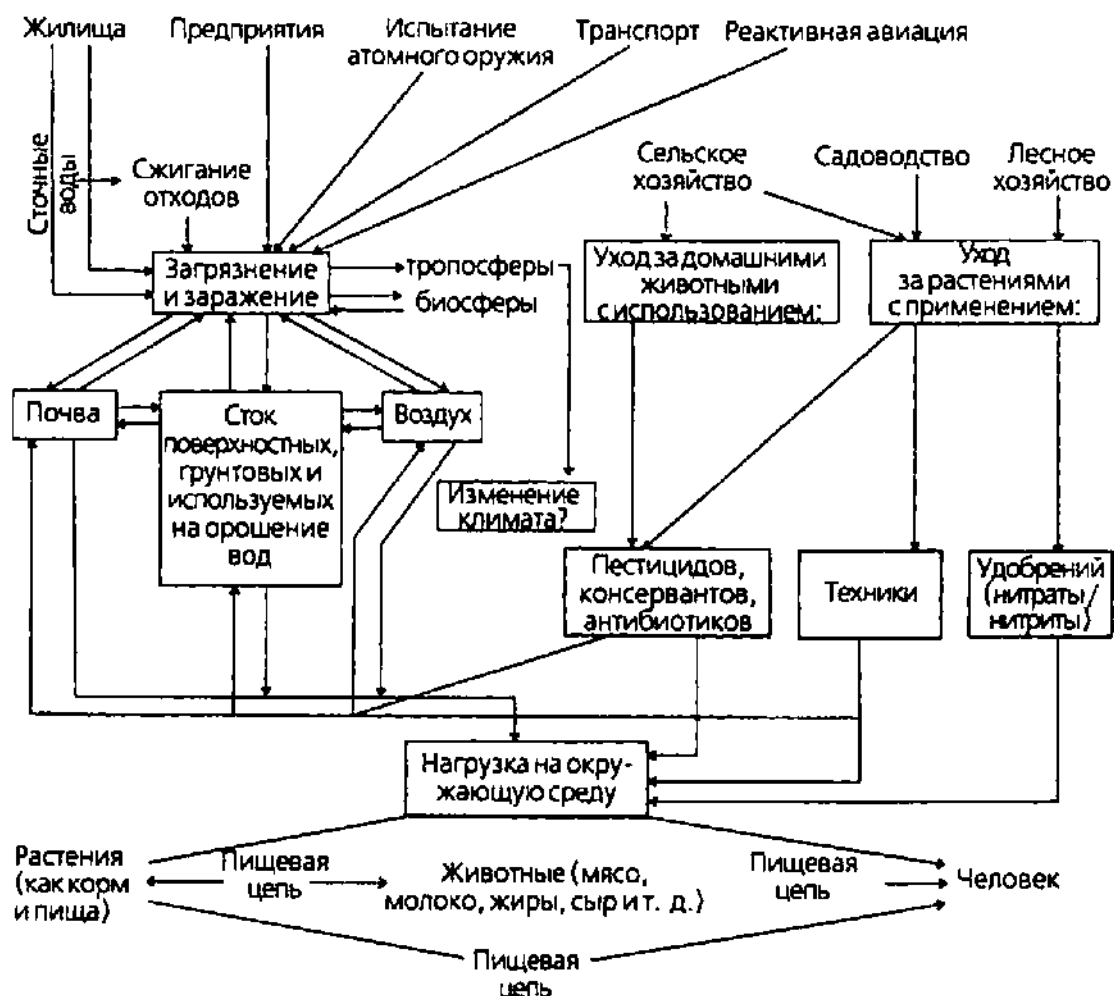


Рис. 3.1. Антропогенное воздействие на среду обитания

- изменение состава биосферы, круговорота и баланса входящего в нее вещества;
- изменение энергетического и теплового баланса отдельных участков и регионов;
- изменения, вносимые в биоту.

Воздействия, оказываемые человеком на природную среду, создают для одних видов благоприятные условия для размножения и развития, для других – неблагоприятные. И, как результат, между видами создаются новые численные отношения, перестраиваются пищевые цепи, возникают приспособления, необходимые для существования организмов в измененной среде. Таким образом, действия человека обогащают или обедняют сообщества. К сожалению, факты говорят о том, что антропогенное воздействие чаще всего ведет к деградации и даже гибели биосистем. Более того, все больше урбанизированных территорий превращаются в зоны экологического бедствия.

Влияние антропогенного фактора в природе может быть как сознательным, так и случайным или неосознанным. Человек, распахивая целинные и залежные земли, создает сельскохозяйственные угодья, выводит высокопродуктивные и устойчивые к заболеваниям формы, расселяет одни виды и уничтожает другие. Эти воздействия часто носят отрицательный характер, например необдуманное расселение многих животных, растений, микроорганизмов, хищническое уничтожение целого ряда видов, загрязнение среды и др.

В качестве отрицательного воздействия человека на природное окружение можно привести несколько примеров исчезновения некоторых видов животных, обитавших ранее на нашей планете.

Первый такой пример – 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, 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 испуганных 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. И в 1768 г. не стало последнего животного, известного теперь под названием корова Стеллера. Всего только 27 лет потребовалось, чтобы было убито последнее животное.

Вот еще печальный пример исчезновения американского странствующего голубя. Ареной его жизни была земля от Мексики до Канады. «Птиц больше, чем песчинок на морском побережье», – говорили те, кто беззаботно их истреблял. Стаи голубей, в которых насчитывалось до 100 млн особей, во время ежегодных перелетов буквально заслоняли небо на несколько часов. Когда они устраивались на ночлег, на деревьях под их тяжестью обламывались ветви.

На птиц охотились с сетью (попадало сразу 15–16 тыс.). Палили из ружей вверх просто из удовольствия. В местах почевок голубей сбивали ночью шестами и дробью, стреляли наугад в темноту. Утром земля под деревьями была буквально завалена птицами. Фермеры битой птицей кормили свиней. Никто не думал, что когда-нибудь голубиные стаи могут исчезнуть. Робкий закон об охране пернатой дичи в штате Огайо (1857 г.) голубей не коснулся: «Странствующие голуби в защите не нуждаются: они так плодовиты, что число их не может уменьшиться».

И вот результат! В 1899 г. был убит последний дикий странствующий голубь. В США, в штате Висконсин, в одном из парков это печальное событие было увековечено бронзовой доской с надписью: «В память о последнем странствующем голубе, убитом в Бабкоке в сентябре 1899 г. Этот вид вымер из-за алчности и легкомыслия человека». 1 сентября 1914 г. в неволе, в зоопарке американского города Цинциннати умерла голубка 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.

За последние 300 лет на Земле полностью истреблено около 300 видов птиц и млекопитающих. Исчезли с лица Земли такие виды, как каролинский попугай, дронг, бескрылая гагарка (рис. 3.2).

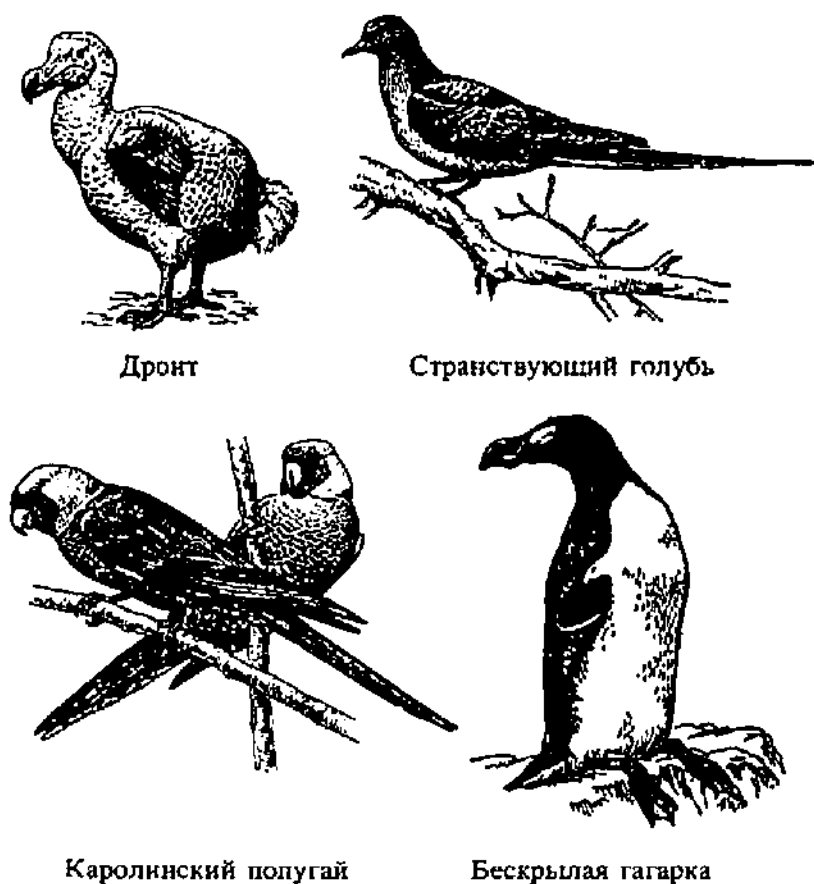


Рис. 3.2. Птицы, полностью истребленные человеком

К случайным относятся воздействия, происходящие в природе под влиянием человеческой деятельности, но которые не были заранее предусмотрены и запланированы человеком, и их немало: распространение различных вредителей, паразитов, случайный завоз различных организмов с грузом, непредвиденные последствия, вызванные сознательными действиями в природе, например нежелательные явления, вызванные осушением болот, постройкой плотин, распашкой целины и др.

Таким образом, не отходя от общепринятой схемы, отметим, что все экологические факторы делятся на следующие группы:

- *абиотические* – влияние элементов неживой природы;
- *биотические* – влияние живых организмов;
- *антропогенные* – влияние человека.

Воздействие экологических факторов может быть как *прямым*, так и *опосредованным*. Например, влияние температуры, солнечной радиации на живые существа чаще всего рассматриваются 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.

В качестве хрестоматийного примера опосредованного действия экологических факторов приводят так называемые птичьи базары, представляющие собой огромные скопления птиц. Высокая плотность пернатых объясняется целой цепочкой причинно-следственных связей. Птичий помет попадает в воду, органические вещества в воде минерализуются бактериями, повышенная концентрация минеральных веществ приводит к повышению численности водорослей, а вслед за ними – и зоопланктона. Низшими ракообразными, входящими в зоопланктон, питаются рыбы, а рыбами – птицы, населяющие птичий базар. Цепочка замыкается. Птичий помет выступает в качестве экологического фактора, опосредованно повышающего численность колоний птиц.

Биотические факторы среды проявляются через взаимоотношения организмов, входящих в одно сообщество. В природе многие виды тесно взаимосвязаны, и их отношения друг к другу как к компонентам окружающей среды могут носить чрезвычайно сложный характер. Что касается связей между сообществом и окружающей неорганической средой, то они всегда являются двусторонними, обоюдными. Так, характер леса зависит от соответствующего типа почв, но сама почва то-

го или иного типа формируется в значительной мере под влиянием леса. Подобно этому, температура, влажность и освещенность в лесу определяются растительностью, но сформировавшиеся в результате климатические условия, в свою очередь, влияют на сообщество обитающих здесь организмов.

3.2. Классификация факторов среды.

Абиотические факторы

Экологические факторы имеют разную природу и специфику действия: каждый фактор неодинаково влияет на различные функции организма.

Действие экологических факторов может приводить:

а) к устранению некоторых видов с территории (климатические и физико-химические особенности которых им не подходят), что влечет за собой изменение их географического пространства;

б) изменению плодовитости и смертности разных видов путем воздействия на развитие каждого из них и вызывая миграции, т.е. влияя на плотность популяций;

в) появлению адаптивных модификаций: количественных изменений обмена веществ и таких качественных изменений, как диапауза, зимняя и летняя спячки, фотопериодические реакции и т.д.

В зависимости от причины возникновения и направленности воздействия среди абиотических и биотических факторов можно выделить несколько групп (см. табл. 3.1).

Охарактеризуем основные абиотические факторы, воздействующие на живой организм.

Климатические факторы

Климат конкретной местности определяется как характерный многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, ее преобразованиями в деятельном слое земной поверхности и связанной с ними циркуляцией атмосферы и океанов. Основными климатическими характеристиками, имеющими значение в экологии являются: число дней солнечного сияния, суммарная солнечная радиация, радиационный баланс; среднегодовые величины и сезонные или месячные колебания температуры воздуха, ее суточный ход, ее абсолют-

ные минимумы и максимумы; сроки перехода температуры через 0 °С и 10 °С; количество осадков, испаряемость влаги; сила и направление ветров; влажность воздуха.

Свет

Наиболее значимым фактором внешней среды является свет. Без него невозможна фотосинтетическая деятельность растений, а без последней невозможна жизнь вообще, поскольку зеленые растения имеют способность продуцировать необходимый для жизни живых существ кислород. Кроме того, свет является единственным источником тепла на планете Земля.

Однако есть и другие аспекты воздействия света на живые организмы. Тот факт, что растениям необходим свет, существенно влияет на структуру сообществ. Распространение водных растений, океанических животных и планктона ограничено областью проникновения солнечных лучей.

В экологии под термином «свет» подразумевается весь диапазон солнечного излучения, достигающего земной поверхности. Солнце излучает в космическое пространство громадное количество электромагнитных волн разной длины и частоты. Спектр распределения энергии излучения Солнца за пределами земной атмосферы показывает, что около половины солнечной энергии излучается в инфракрасной области, 40 % – в видимой и 10 % – в ультрафиолетовой и рентгеновской областях. Земная атмосфера, включая озоновый слой, селективно, т.е. избирательно по частотным диапазонам, поглощает энергию электромагнитного излучения Солнца, и до поверхности Земли доходит в основном излучение с длиной волны от 0,3 до 3 мкм.

Хотя на Землю попадает лишь одна двухмиллиардная часть солнечного излучения, на каждый 1 м² планеты приходится в среднем по 1,3 кВт энергии. Ее хватило бы для работы электрического чайника или утюга.

Для живого вещества важны качественные признаки света – длина волны, интенсивность и продолжительность воздействия. 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

* 1 мкм (микромметр) равен 0,001 мм.

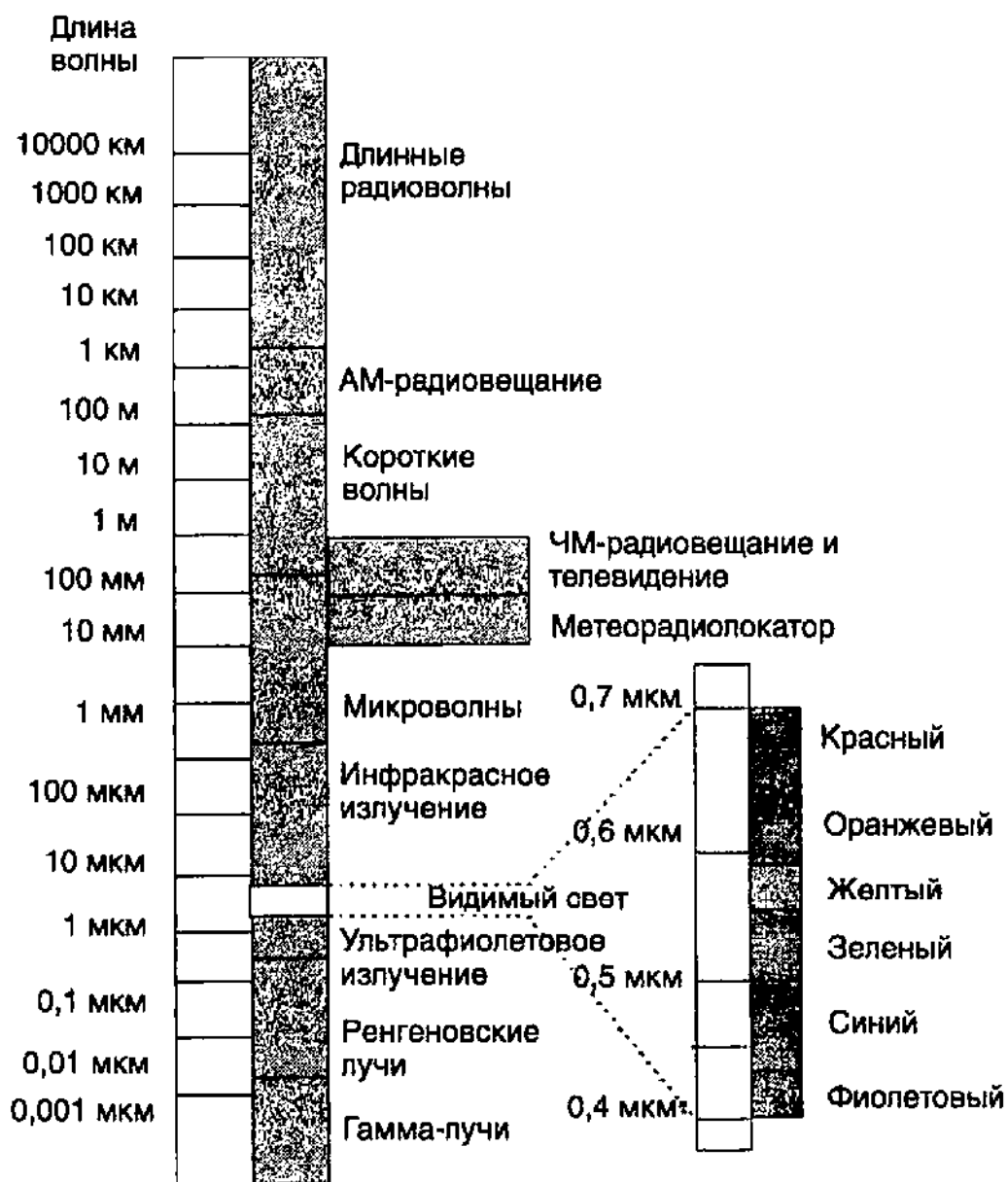


Рис. 3.3. Спектр электромагнитного излучения Солнца

тепло. Более короткие – ультрафиолетовые волны (менее 0,4 мкм) наши органы чувств непосредственно не воспринимают. Другие живые существа, в частности насекомые, наоборот, воспринимают инфракрасные и ультрафиолетовые излучения, недоступные человеку (рис. 3.3).

Известно, что животные и растения реагируют на изменение длины волны света. Цветовое зрение развито в разных группах животных по-разному: оно хорошо развито у некоторых видов членистоногих, рыб, птиц и млекопитающих, но у других видов тех же групп оно может отсутствовать. На рис. 3.4 показано восприятие цветочного луга человеком и пчелой.

Часть солнечных лучей, преодолев огромное расстояние, достигает поверхности Земли, освещает и обогревает ее. Подсчитано, что на нашу планету поступает около одной двухмил-

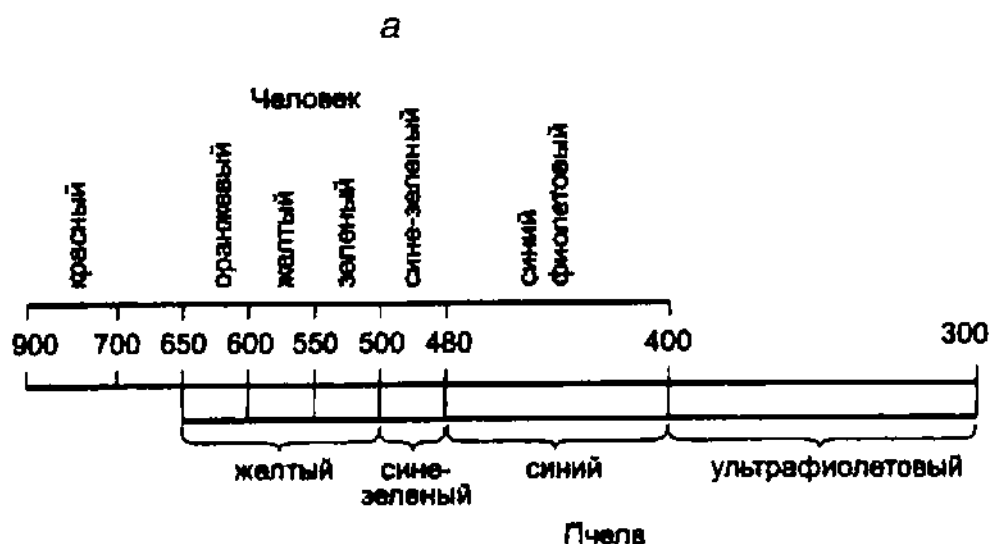


Рис. 3.4. Восприятие света человеком и пчелой (а); цветочный луг, каким его видим мы (б) и каким он представляется пчеле (в)

лиардной 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 *фотосинтетически активной радиацией* (ФАР). В этом спектральном диапазоне (0,38–0,71 мкм) в живых организмах совершаются важнейшие фотобиологические процессы. Показатели ФАР очень изменчивы. Интенсивность фотосинтеза варьируется с изменением длины волны света. Например, при прохождении света через воду красная и синяя части спектра отфильтровываются и получающийся зеленоватый свет слабо поглощается хлорофиллом. Однако красные водоросли имеют дополнительные пигменты (фикоэритрины), позволяющие им использовать эту энергию и жить на большей глубине, чем зеленые водоросли.

Оказывается, для растений наиболее продуктивными являются не прямые солнечные лучи, которые падают перпен-

дикулярно на зеленую поверхность листьев, а рассеянные. Прямая радиация Солнца в зависимости от высоты светила над горизонтом содержит 28–43 % ФАР. Рассеянная радиация при солнечном свете составляет 50–60 %, рассеянная радиация при ясном небе – до 90 % ФАР.

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 растениям жить в разнообразных условиях. По отношению к освещенности в естественных местообитаниях растения можно разбить на несколько групп. В связи с этим хочется остановиться на одном заблуждении. Во многих учебниках, справочниках по экологии дается такая градация растений по отношению к свету: светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые, т.е. одни растения любят светлые места произрастания, другие же, наоборот, обожают тень.

Следует заметить, что места, куда свет проникает в очень малых количествах, – это неблагоприятные условия существования для любых организмов. Не составляют исключений и растения. Тень – 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 других, 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, например, 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, где конкурентов у них уже нет. Это не значит, что они не любят свет (якобы тенелюбивые). Они просто вынуждены терпеть эволюционно сложившиеся фитоценотические отношения. Конечно, 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;
- растения светолюбивые – **гелиофиты** (от греч. «гелиос» – солнце и «фитон» – растение).

Места обитания сциофитов – нижние затемненные ярусы; обитатели глубоких слоев водоемов. Прежде всего это растения, находящиеся под пологом леса (кислица, костяника, сныть).

Сциофиты характеризуются следующими признаками:

- листья крупные, нежные; листья темно-зеленого цвета; листья подвижные;
- характерна так называемая листовая мозаика (т.е. особое расположение листьев, при котором они максимально не заслоняют друг друга).

Для сциофитов зоной оптимума служат 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 (*Majanthemum 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 характеризуются следующими признаками:

- мелкие размеры листьев; встречается сезонный диморфизм: весной листья мелкие, летом – крупнее;
- листья располагаются под большим углом, иногда почти вертикально;
- листовая пластинка блестящая или густо опушенная;
- образуют разряженные насаждения.

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

Любой организм способен жить в пределах определенного диапазона температур. Область распространения живого в основном ограничена областью чуть ниже 0 °С и до +50 °С. И хотя некоторые авторы указывают диапазон температур, при которых возможно существование живых организмов от –200 °С до +100 °С, 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.

Конечно, известны и исключения, когда живые организмы переносили как высокие (некоторые цианобактерии могут существовать при 80–88 °С), так и низкие температуры. Например, одна из жужелиц Аляски (*Pterostichus brevicorni*) в условиях эксперимента перенесла охлаждение –87 °С в течение 5 ч. В исландских термальных (теплых) источниках температура воды обычно держится близ отметки +55 °С. Здесь часто можно встретить личинки мушки *Scatella*. Обычно к высоким температурам приспосабливаются беспозвоночные животные, такие, как мелкая амeba (*Amoeba limax*), которая выдерживает температуру +54 °С (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 °С.

Критические температуры для растений и животных могут варьировать чрезвычайно широко. Если живущие в пустыне рептилии могут без труда переносить 45-градусную жару, то большинство морских беспозвоночных гибнет при температуре более 30–32 °С. Наши обычные бабочки – крапивницы и капустницы во взрослом состоянии могут выживать при температурном интервале от 8 до 200 °С ниже нуля. И только после падения температуры тела ниже этих величин у них наступает пересохлаждение, вызывающее необратимые изменения в организме. А такие организмы, как коловратки при высыхании могут выдерживать падение температуры до –60 °С. После повышения температуры они часто оживают.

Основным источником тепла, как и света, является солнечное излучение. Организм может выживать только в условиях, 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.

Воздействие различных температур на живые организмы приводит либо к увеличению, либо к уменьшению скорости обменных процессов и биохимических реакций. Повышение температуры ведет к пропорциональному возрастанию скорости реакции. Величину температурного ускорения химических реакций удобно отражать коэффициентом температурного ускорения Q_{10} .

$$Q_{10} = K_t + 10 / K_r,$$

где K_t – скорость реакции при температуре t .

Данный коэффициент показывает во сколько раз изменяется скорость реакций при изменении температуры на 10 °С. Это положение называется *правилом Вант-Гоффа* и гласит, что подъем температуры на 10 °С приводит к 2–3-кратному ускорению химических процессов, т.е. величина коэффициента равна 2–3. Следует отметить, что в реакциях живых организмов коэффициент Q_{10} может колебаться в довольно широких пределах. Объясняется это тем, что в живых организмах химические процессы протекают с участием сложных ферментативных систем. Их активность зависит от температуры.

Однако скорость ферментативных реакций не является линейной функцией температуры. Поэтому для разных организмов, находящихся в специфических условиях среды, коэффициент температурного ускорения различный. Например, зависимость метаболизма рыб и многих водных животных от температуры выражается в изменении величины Q_{10} от 10,9 до 2,2 в диапазоне температур от 0 до +30 °С.

При сильном понижении температуры осуществление жизненных функций организма становится невозможным из-за резкого замедления обмена веществ. При повышении температуры обменные процессы организма резко возрастают, что в большинстве случаев приводит к его гибели. 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. Пойкилотермия (холоднокровность) свойственна таким группам организмов, как 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 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 **гомойотермными**. За счет этого свойства многие виды животных способны жить и размножаться при температуре ниже нуля (северный олень, белый медведь, ластоногие, пингвины). Поддержание постоянной температуры своего тела обеспечивается гомойотермными (теплокровными) животными такими приспособлениями к условиям существования, как хорошая тепловая изоляция, создаваемая шерстяным покровом, плотное оперение, подкожные воздушные полости, толстый слой жировой ткани и т.п.

Частный случай гомойотермии – **гетеротермия**. Разный уровень температуры тела у гетеротермных организмов зависит от их функциональной активности. В период активности они обладают постоянной температурой тела, а в период отдыха или зимней спячки она значительно понижается. Гетеротермность характерна для сусликов, сурков, барсуков, летучих мышей, ежей, бурых медведей, колибри и др.

Влажность

Вода – основа живой материи. 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 медленно нагревается и медленно остывает. Нужны большие затраты энергии для превращения льда в жидкость и жидкой воды в пар. Эти свойства определяют роль воды как аккумулятора энергии и главного регулятора климата на Земле.

Максимальная плотность воды приходится на температуру $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. У других жидкостей максимальная плотность соответствует температуре плавления. При температурах выше и ниже $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода имеет меньшую плотность, т.е. она расширяется. Поэтому лед не тонет в собственном расплаве. Благодаря этому водоемы замерзают с поверхности и образовавшаяся ледяная корка защищает их от полного промерзания, а живые организмы от гибели.

Вода – инертный и универсальный растворитель. Газы достаточно хорошо растворяются в ней, если способны вступать в химическое взаимодействие (аммиак, сероводород, сернистый газ, диоксид углерода). Прочие газы в ней мало растворимы. При понижении давления и повышении температуры растворимость газов уменьшается.

Вода химически не изменяется под действием большинства технических соединений, которые растворяет. Это очень важно для всех живых организмов на нашей планете, поскольку необходимые их тканям питательные вещества поступают в водных растворах в сравнительно мало измененном виде. В природных условиях вода всегда содержит то или иное количество примесей, взаимодействуя не только с твердыми и жидкими веществами, но растворяя также и газы.

Даже из свежес выпавшей дождевой воды можно выделить несколько десятков миллиграммов различных растворенных в ней веществ на каждый литр объема. Абсолютно чистую воду никогда и никому еще не удавалось получить ни в одном из ее агрегатных состояний; химически чистую воду, в значительной мере лишенную растворенных веществ, производят путем длительной и кропотливой очистки в лабораториях или на специальных промышленных установках.

В природных условиях вода не может сохранить «химическую чистоту». Постоянно соприкасаясь со всевозможными веществами, она фактически всегда представляет собой раствор различного, зачастую очень сложного свойства. В пресной воде содержание растворенных веществ обычно превышает 1 г/л. От нескольких единиц до десятков граммов на литр колеблется содержание солей в морской воде: например в Балтийском море их всего 5 г/л, в Черном – 18, а в Красном море – даже 41 г/л.

Вода способна к значительному переохлаждению, т.е. может оставаться в жидком состоянии ниже температуры плавления (даже при -30°C). Ее удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и кипения аномально высоки по сравнению с другими веществами, причем удельная теплоемкость воды минимальна при 40°C . Теплоемкость воды принята за 1. Теплоемкость песка, например, составляет 0,2, а железа – лишь 0,107 теплоемкости воды. Способность воды накапливать большие запасы тепловой энергии позволяет сглаживать резкие температурные колебания на прибрежных участках Земли в различные времена года и в различную пору суток: вода выступает как бы регулятором температуры на всей нашей планете.

Большое экологическое значение имеют высокая плотность и вязкость воды. Плотность воды примерно в 1300 раз, а вязкость примерно в 55 раз выше, чем у воздуха. Вязкость с ростом давления уменьшается, а не повышается, как следовало бы ожидать по аналогии с другими жидкостями. Сжимаемость воды крайне невелика, причем с ростом температуры уменьшается. Удельная масса воды соизмерима с таковой тела живых организмов.

Из-за высокой плотности воды водные организмы (особенно активно движущиеся) сталкиваются с большой силой гидродинамического сопротивления. Эволюция многих групп водных животных по этой причине шла в направлении фор-

мирования формы тела и типов движения, снижающих лобовое сопротивление, что приводит к снижению энергозатрат на плавание. Так, обтекаемая форма тела встречается у представителей различных групп организмов, обитающих в воде, — дельфинов (млекопитающих), костистых и хрящевых рыб.

Высокая плотность воды является также причиной того, что механические колебания (вибрации) хорошо распространяются в водной среде. Это имело важное значение в эволюции органов чувств, ориентации в пространстве и коммуникации между водными обитателями. Вчетверо большая, чем в воздухе, скорость звука в водной среде определяет более высокую частоту эхолокационных сигналов.

По сравнению с почвой и воздухом вода отличается гораздо большей термостабильностью, что благоприятно для существования жизни. Когда вода начинает нагреваться, возрастает испарение, вследствие чего повышение температуры замедляется. При охлаждении воды ниже 0 °С и образовании льда, выделяющееся тепло тормозит дальнейшее понижение температуры. По сравнению с воздухом, вода гораздо менее прозрачна, и падающий в нее свет довольно быстро поглощается и рассеивается.

Уникальные свойства воды определяют особую ее миссию в формировании лика планеты Земля, ее физической и химической среды, а также в появлении и поддержании удивительного явления — жизни. В его организме с массой тела 65 кг содержится около 40 л воды, из них почти 25 л находится внутри клеток, а 15 л — в составе внеклеточных жидкостей организма. Из 25 л внутриклеточных жидкостей около 95 % находится в свободном состоянии, а 5 % — иммобилизовано за счет связи с биологическими макромолекулами. Почти 89 % воды содержит человеческий мозг, до 80 % воды входит в состав человеческой крови, более чем на 70 % мышцы человека содержат все ту же воду, и даже в костях скелета около 20 % влаги. Особенно богаты водой ткани молодого организма. С годами человек высыхает, теряет влагу. В теле 3-месячного плода содержится 95 % воды, 5-месячного — 86, новорожденного ребенка — 70, взрослого человека — от 65 до 55 %.

Для поддержания водного баланса медики рекомендуют выпивать в сутки 2 л воды. При этом считается все: соки, кисели, супы, компоты и т.п. Еда на самом деле состоит в основном из воды. Даже в засушенной корочке черного хлеба ее около 5 %, в молоке — 87, в помидорах — 85, в мясе — 50–70 %.

Суточная же потребность в воде составляет для взрослого человека 9–10 л, т.е. около 15 % массы тела. Это не означает, что здоровый человек должен пить каждый день по ведру воды. Дело в том, что 7–8 л наши ткани создают сами. Эта так называемая *эндогенная жидкость* рождается в организме при сжигании питательных веществ кислородом, строительстве новых молекул, их переделке. И эту воду непрерывно «выпивают» ткани. Перераспределение ее идет через желудочно-кишечный тракт. Например, человек глотает со слюной 1,5 л воды, столько же дает желудок в виде желудочного сока, 3 л соков выделяет кишечник, 0,7 л – поджелудочная железа и 0,5 л образуется желчи.

Но «приток» эндогенной влаги меньше, чем ее потери через почки, кожу, легкие, и поэтому 2 л воды человек должен получить извне – либо в чистом виде, либо с различной пищей. За несколькими исключениями это правило распространяется и на животных.

Больше всего воды в течение суток из наземных животных нужно слону – около 90 л, причем для нормальной жизнедеятельности он должен пить ежедневно. Может, потому и стали слоны одними из лучших «гидрогеологов» среди зверей и птиц. Водоемы они чувствуют на расстоянии до 5 км! Только бизоны чуют еще дальше – на 7–8 км. В засушливое время слоны роют бивнями в руслах опустевших рек ямы, куда собирается вода. Буйволы, носороги и другие животные охотно пользуются слоновьими колодцами. Задними лапами роют колодцы и кенгуру. Глубина таких углублений доходит до 1 м.

Чтобы удовлетворить жажду, гиены иногда едят дыни, арбузы, другие овощи. Горный кенгуру (валлару) обдирает кору деревьев и слизывает проступающий сок. Сурок, жираф, коала, некоторые антилопы и многие другие обитатели саванн и пустынь живут без водопоя многие недели, но при условии, что они получают влагу с сочной зеленью. Верблюду же обходиться безо всякой воды помогает жир в горбах. При окислении 100 г жира в организме образуется 107 г воды.

Первый признак того, что организму не хватает воды – усталость. При потере всего 5 % из положенного организму количества жидкости пульс тут же учащается, а температура повышается. Если воду заменить на чай, кофе, вино, то эффект будет обратный. Все это мочегонное, поэтому жидкости в таких случаях теряется гораздо больше, чем выпивается. Если обезвоживание произойдет на 20 %, то надо срочно пить воду.

Тела животных содержат, как правило, не менее 50 % воды. Упомянувшийся 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 98 %. Из животных наиболее «сухой» амбарный долгоносик (*Sithophilus granarus*). В его теле содержится всего 46 % воды.

Сочные плоды растений также содержат большое количество воды: в картофеле – 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 ее недостаток. Вода и растворенные в ней соли проникают в тела животных различными путями. Животные, обитающие в водной среде, получают ее через наружные покровы. Насекомые, моллюски, черви, амфибии адсорбируют влагу из воздуха. Поэтому лягушке пить совсем не обязательно. Для многих животных основной источник воды – пища. Бабочки питаются главным образом жидким кормом, комары довольствуются капельками росы.

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 среди млекопитающих 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.

Среди других животных, к примеру, дождевой червь может терять даже 43 % воды, и, хотя после этого он становится неподвижным и жизнь словно замирает в нем, его можно возродить. Чемпион же обезвоживания – африканская двоякодышащая рыба протоптерус. К концу спячки, которую она проводит в иле, в ней остается 10 % начального веса, и похудение идет в основном за счет потери воды.

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 тыс. мм/г. Для сравнения в тундре и пустынях выпадает менее 250 мм/г. 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 2–3 раза больше воды, чем ее выпадает с осадками.

Животные по-разному относятся к влаге. Вода как физико-химическое тело оказывает непрерывное воздействие на жизнь гидробионтов (водных организмов). Она не только удовлетворяет физиологические потребности организмов, но и служит им опорой, доставляет кислород и пищу и уносит метаболиты, переносит половые продукты и самих гидробионтов. Благодаря подвижности воды в гидросфере возможно существование прикрепленных к субстрату животных, которых, как известно, нет на суше. Поэтому свойства воды – важнейший фактор абиотической среды водного населения.

Отличаются потребности в воде и в мире растений. 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.

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

■ **Гидрофиты** (от греч. «гидро» – вода) – растения, погруженные в воду меньшей своей частью. 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 следующие группы.

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

■ **Мезофиты** (от греч. «мезос» – средний) – растения умеренно влажных местообитаний. В наших условиях это наиболее обширная экологическая группа растений. Здесь и обычные луговые травы (клевер 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*), почти все лиственные деревья (осина, береза, клен, ольха), многие полевые культуры и сорняки.

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

Среди ксерофитов выделяют две группы растений. Одни имеют сочные, мясистые стебли или листья. Эта группа носит название **суккулентов** (от лат. «суккулентус» – сочный, жирный). Все эти растения в процессе эволюции выработали свойство накапливать воду в листьях или стеблях. В зависимости от того, в каких частях суккулентов развивается водозапасающая ткань, их делят на стеблевые и листовые. У стеблевых суккулентов листья чаще всего превращены в колючки или чешуйки. К ним относятся такие популярные у цветоводов растения, как кактусы. Некоторые кактусы способны концентрировать в своих стеблях до 3 тыс. л воды и экономно расходовать ее в условиях засушливого климата. К листовым суккулентам относятся разводимые многими в лечебных целях виды из рода алоэ и бриофиллум.

Суккуленты встречаются 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.

Вторая группа растений-ксерофитов имеет жесткие кожистые листья и стебли, которые эффективно задерживают испарение воды. Они способны без вреда для себя потерять до 20–25 % содержащейся в них влаги. Эта группа растений носит название **склерофиты** (от греч. «склерос» – твердый, жес-

ткий). По внешнему виду склерофиты являются полной противоположностью суккулентам. Листья и стебли их не содержат запасов воды и кажутся суховатыми. К склерофитам относятся ковыли, многие полыни, саксаул, верблюжья колючка, оливковое дерево, пробковый дуб.

Эдафические факторы (факторы почвенной среды)

Жизнь многих организмов теснейшим образом связана с почвой. Почва – это удивительный мир, в котором существуют бок о бок многочисленные мельчайшие, мелкие и более крупные организмы. Она обильно пронизана корнями многочисленных растений, которые используют ее как питательную среду. Условия их жизни в первую очередь зависят от особенностей и свойств почвы.

Вся совокупность физических и химических свойств почвы, оказывающих экологическое воздействие на живые организмы относится к **эдафическим факторам** (от греч. «эда-фос» – основание, земля, почва). К основным эдафическим факторам относятся механический состав (размер частиц почвы), относительная рыхлость, структура, водопроницаемость, аэрируемость, химический состав самой почвы и циркулирующих в ней веществ (газов, воды).

Механический состав почвы определяется содержанием в ней механических элементов (гранулометрический состав) (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Характеристика механических элементов почвы

Механические элементы	Диаметр частиц, мм
Камни	Более 3
Гравий	3–1
Песок крупный	1–0,5
Песок средний	0,5–0,25
Песок мелкий	0,25–0,05
Пыль крупная	0,05–0,01
Пыль средняя	0,01–0,005
Пыль мелкая	0,005–0,001
Ил грубый	0,001–0,0005
Ил тонкий	0,0005–0,0001
Коллоиды	Менее 0,0001

Характер гранулометрического состава почвы может иметь экологическое значение для животных, которые по крайней мере в какой-то период обитают в почве или ведут роющий образ жизни. Личинки насекомых, как правило, не могут жить в слишком каменистой почве; роющие перепончатокрылые, откладывающие яйца в подземных ходах, многие саранчевые, зарывающие яйцевые коконы в землю, нуждаются в том, чтобы она была достаточно рыхлой.

Важной характеристикой почвы является ее кислотность. 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. Кислотность может служить индикатором скорости общего метаболизма сообщества. Если рН почвенного раствора слишком низка, то в ней содержится мало биогенных элементов, поэтому продуктивность такой почвы крайне мала.

По отношению к степени кислотности почвы можно выделить следующие экологические группы растений:

- **ацидофильные** виды могут расти на кислых почвах с рН почвенного раствора менее 6,7 (это растения сфагновых болот, вереск (*Calluna vulgaris*), багульник (*Ledum palustre*), виды родов хвощ (*Equisetum*), черника (*Vaccinium myrtillus*), многие мхи);

- **нейтрофильные** виды растут на почвах со значением рН близко к нейтральному (большинство культурных растений, виды родов клевер (*Trifolium*), люцерна (*Medicago*), тимopheевка (*Phleum*), орех (*Juglands*) и др.);

- **базифильные** виды малочувствительны к щелочной реакции и растут при рН более 7 (в основном это растения меловых отложений, степей, пустынь и полупустынь);

- **индифферентные** виды могут произрастать на почвах с разным значением рН (ландыш (*Convallaria majalis*), овсяница овечья (*Festuca ovina*) и др.).

По отношению к плодородию почвы (валовому составу химических элементов) различают следующие экологические группы растений:

■ **олиготрофы** (от греч. «олигос» – небольшой и «трофе» – питание) – растения бедных, малоплодородных почв (сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*));

■ **мезотрофы** (от греч. «мезос» – средний) – растения с умеренной потребностью к питательным веществам – большинство наших лесных растений;

■ **эвтрофы** (от греч. «эу» – хорошо) – растения, требовательные к содержанию большого количества питательных веществ в почве (дуб (*Quercus robur*), лещина (*Corylus avellana*), сныть (*Aegopodium podagraria*)).

Орографические факторы

На распространение организмов по земной поверхности влияют такие орографические факторы, как особенности элементов рельефа, высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов.

Макрорельеф (горы, долины, низменности) влияет на распределение растительности в крупных географических масштабах. Одним из главных орографических факторов является высота над уровнем моря. С высотой снижаются средние температуры, увеличивается суточный перепад температур, возрастают количество осадков, скорость ветра и интенсивность радиации, понижаются атмосферное давление и концентрации газов. Все эти факторы влияют на растения и животных, обуславливая вертикальную зональность.

Характерный пример – вертикальная зональность в горах. Подъем в гору часто напоминает путешествие от экватора к полюсу. Здесь с поднятием на каждые 100 м температура воздуха понижается в среднем на 0,55 °С. Одновременно с этим изменяется влажность, сокращается длительность вегетационного периода. С увеличением высоты местообитания существенно изменяется развитие растений и животных. У подножия гор могут находиться тропические моря, а на вершине – дуть арктические ветры. С одной стороны гор может быть солнечно и тепло, с другой – влажно и холодно.

Еще один орографический фактор – экспозиция склона. На северных склонах растения образуют теневые формы, на южных – световые. Растительность представлена здесь главным образом засухоустойчивыми кустарниками. Склоны, обращенные на юг, получают больше солнечного света, поэтому интенсивность света и температура здесь выше, чем на дне до-

лин и на склонах северной экспозиции. С этим связаны существенные различия в прогревании воздуха и почвы, скорости таяния снега, иссушения почвы.

Важным фактором рельефа является также крутизна склона. Влияние этого показателя на условия жизни организмов сказываются главным образом через особенности почвенной среды, водного и температурного режимов. Для крутых склонов характерны быстрый дренаж и смывание почв, поэтому здесь почвы маломощные и более сухие. Если уклон превышает 35°, почва и растительность обычно не образуются, а создаются осыпи из рыхлого материала.

Пирогенный фактор (пожары)

Пожары являются весьма значимым экологическим фактором. По выражению Ю. Одума пожар является «частью «климата» в большинстве наземных местообитаний и формирует историю их флоры» (Одум, 1986). В настоящее время экологи пришли к однозначному мнению, что пожар надо рассматривать как один из естественных абиотических факторов наряду с климатическими, эдафическими и другими факторами. При правильном использовании огонь может стать очень ценным экологическим инструментом. Следует отметить, что в отличие от других экологических факторов, человек может регулировать пожары, в связи с чем они могут быть определенным ограничивающим фактором при распространении растений и животных.

Возникновению пожаров могут способствовать как естественные факторы (удар молнии), так и случайные и неслучайные действия человека. Различают два типа пожаров.

Наиболее трудно поддаются сдерживанию и регулированию пожары *верховые*. Чаще всего они весьма интенсивны и разрушают всю растительность и органику почвы. Такие пожары оказывают ограничивающее воздействие на многие организмы.

Низовые пожары, наоборот, обладают избирательным действием: для одних организмов они оказываются более губительными, для других – менее, и таким образом способствуют развитию организмов с высокой устойчивостью к пожарам. Кроме того, небольшие низовые пожары дополняют действие бактерий, разлагая умершие растения и ускоряя превращение минеральных элементов питания в форму, пригодную для использования новыми поколениями растений.

Если низовые пожары случаются регулярно раз в несколько лет, на земле остается мало валежника, это снижает вероятность возгорания крон. В лесах, не горевших более 60 лет, накапливается столько горючей подстилки и отмершей древесины, что при ее воспламенении верховой пожар почти неизбежен.

Иногда пожары являются даже обязательными факторами в циклах развития некоторых деревьев, например, сосны. В южных штатах США по Атлантическому побережью сосновые леса сохраняются благодаря периодическим пожарам. Некоторые виды сосен выбрасывают семена только после воздействия тепла от пожара, который проходит на уровне подлеска. После пожара проростки сосны лучше растут, так как не встречают конкуренции с другими видами, обычно присутствующими в подлеске.

В местообитаниях, подверженных частым пожарам, как, например, на юге Калифорнии, многие растения откладывают запасы питательных веществ в устойчивых к огню розетках корней, которые после окончания пожара дают новую поросль. Отрастающие от корней побеги закрепляют почву быстрее и лучше, чем если бы это происходило при развитии новых растений только из семян.

Кроме всего прочего, в местообитаниях с малоплодородной почвой пожары способствуют обогащению ее зольными элементами и питательными веществами.

При достаточной влажности (прерии Северной Америки) пожары стимулируют рост трав за счет деревьев. Особенно важную регулирующую роль пожары играют в степях и саваннах. Здесь периодические пожары уменьшают вероятность вторжения пустынных кустарников.

Растения выработали специальные адаптации (приспособления) к пожару, так же, как они сделали по отношению к другим абиотическим факторам. В частности, почки злаков и сосен скрыты от огня в глубине пучков листьев или хвоинок. В периодически выгорающих местообитаниях эти виды растений получают преимущества, так как огонь способствует их сохранению, избирательно содействуя их процветанию. Широколиственные же породы лишены защитных приспособлений от огня, он для них губителен. Семена многих однолетних растений устойчивы к огню, что дает им возможность появиться на выжженных участках прежде, чем их вытеснят кустарники. Кроме того, точки роста злаков находятся под зем-

лей, так что травы быстро и пышно отрастают после выгорания сухих надземных частей.

Стремительно надвигающийся степной пожар губителен для мелких животных, не способных спастись бегством. Однако они успевают спрятаться от огня в норах, глубоко в почве, либо под камнями, или среди корней злаков. Крупные животные успевают спастись от очагов возгорания.

Пожары поддерживают устойчивость лишь некоторых экосистем. Листопадным и влажным тропическим лесам, равновесие которых складывалось без влияния огня, даже низкой пожар может причинить большой ущерб, разрушив богатый гумусом верхний горизонт почвы, приведя к эрозии и вымыванию из нее биогенных веществ.

Следует отметить, что по своей неосторожности человек нередко бывает причиной увеличения частоты диких пожаров, поэтому необходимо активно бороться за пожарную безопасность в лесах и зонах отдыха. Частное лицо ни в коем случае не имеет права намеренно или случайно вызывать пожар в природе. Вместе с тем необходимо знать, что использование огня специально обученными людьми является частью правильного землепользования.

3.3. Биотические факторы

На каждый живой организм действуют не только факторы неживой природы (абиотические), но и сами живые существа. Формами воздействия живых существ друг на друга являются биотические факторы. Однако следует учитывать, что организмы не только испытывают на себе прямое или косвенное влияние других организмов, но и сами изменяют окружающую абиотическую среду.

Выделяют две группы биотических факторов: фитогенные и зоогенные.

К **фитогенным** относят факторы воздействия (влияния) растений друг на друга и окружающую среду. Формы взаимоотношений между растениями многообразны. Среди них можно выделить следующие группы:

- прямые (контактные) механические – охлестывание ветвями, эпифитизм, давление и сцепление стволов и корней;
- физиологические – симбиоз, паразитизм и полупаразитизм, срастание корней;

■ косвенные трансбиотические – через животных и микроорганизмы;

■ косвенные трансабиотические – средообразующие влияния, конкуренции, аллелопатия (химические взаимовлияния между растениями).

Примером **прямых** взаимодействий является повреждение ели и сосны в смешанных лесах от охлестывающего действия березы. Раскачиваясь от ветра, тонкие и хлесткие ветви березы ранят кору и хвою ели, сбивают мягкие молодые иглы.

В жизни деревьев тропического леса губительным зачастую является разрастание лиан, приводящее к обламыванию ветвей. К тому же в результате сдавливающего действия их выходящих стеблей или корней на стволы деревьев, происходит усыхание последних.

Эдвин Менниджер – ученый-дендролог – длительное время изучавший жизнь деревьев, так описывает процесс «удушения» одного дерева другим: «В тропиках многие деревья начинают жизнь высоко над землей в ветвях другого дерева... Из семени развивается эпифит – воздушное растение, которое удерживается на приютившей его ветке, обвивая ее крепкими корнями. Оттуда его корни сползают по стволу дерева-опоры на землю и начинают бурно разрастаться. Заметьте, что этот корень ползет по стволу... Боковые корни опоясывают ствол дерева-хозяина, срастаясь там, где они соприкасаются друг с другом. Ботаники называют этот процесс *анастомозом*. Затем растение-агрессор начинает выпускать воздушные корни по всему первому звену, соединившему его с землей – они растут вниз и окружают дерево сплошным переплетением.

Эти корни утолщаются главным образом с наименее освещенной стороны – они растут не к свету, а от света. А так как они плотно прижаты к стволу дерева-хозяина, то, утолщаясь, продавливают его кору и в конце концов убивают его. Тем временем растение, питаемое основным корнем, вырастает и само становится деревом».

К форме механических контактов относится и так называемый эпифитизм (см. выше) – использование одним растением другого растения в качестве среды обитания. Растения, живущие на других растениях (на ветвях, стволах деревьев), без связи с почвой называются *эпифиты*, а поселяющиеся на листьях – *эпифиллы*. Ученые полагают, что около 10 % всех видов растений ведет эпифитный образ жизни. Особенно богаты ими тропические леса.

К **физиологическим контактам** относятся такие взаимоотношения между растениями, как паразитизм, симбиоз, срастание корней и др.

Наиболее характерный пример прямых физиологических воздействий одного растения на другое – паразитизм. Напри-

мер, повилыка, питающаяся соками клевера или крапивы, угнетает и заметно задерживает их рост. К тому же, опутывая растения, повилыка не дает им распрямиться.

Луговое растение-полупаразит погребенок присасывается своими корнями к корням других растений и пополняет за их счет свое питание.

К физиологическим контактам можно отнести и симбиоз между растениями – их взаимовыгодное сожительство. Примером может служить взаимодействия между клубеньковыми бактериями-азотфиксаторами и большинством растений семейства бобовых. Бактерии из рода *Rhizobium*, живут в клубеньках на корнях бобовых (клевер, фасоль, соя, люпин). Обеспечиваются пищей (сахара) и местообитанием, а растения получают от них взамен доступную форму азота.

Нередко биотические отношения между растениями приводят к срастанию корней близко растущих древесных пород одного или разных видов. Это явление не столь редкое в природе. К примеру, в густых насаждениях ели (*Picea abies*) срастаются корнями около 30 % всех деревьев. Между сросшимися корнями осуществляется обмен в виде переноса питательных веществ и воды.

Физиологическими контактами следует считать и такой процесс в мире растений, как опыление с помощью ветра – *анемофилия*. В данном случае контактирующие между собой растения могут находиться на значительном расстоянии друг от друга.

Нередки в природе **косвенные трансбиотические взаимоотношения** между растениями. Посредником здесь являются животные и микроорганизмы. Всем хорошо известное опыление растений насекомыми получило название энтомофилии. Насекомые, участвующие в опылении, переносят пыльцу от одного растения к другому, осуществляя контакты между ними. В процессе опыления могут участвовать также и птицы. Такой процесс называется *орнитофилия*. Он особенно распространен в тропических и субтропических областях южного полушария. Известно около 2 тыс. птиц, которые опыляют цветки в поисках нектара или при ловле насекомых, ищущих убежище в их венчиках.

В косвенных трансбиотических взаимоотношениях часто участвуют микроорганизмы. Например, корневая система многих деревьев (дуба, березы, ели) сильно изменяет окружающую почвенную среду (состав, рыхлость, кислотность). Все

это создает благоприятные условия для поселения там различных бактерий, которые питаются выделениями корней дуба и органическими остатками. Поселяясь рядом с корнями дуба, бактерии образуют своеобразную «оборонительную линию», препятствуя проникновению в корни болезнетворных грибов. Барьер создается при помощи антибиотиков, выделяемых бактериями. Такое участие микроорганизмов сказывается положительно на состоянии растений, особенно молодых.

Косвенные трансабиотические взаимоотношения между растениями выражаются в изменении растением окружающей среды. Примером может служить взаимовлияние растений через изменение факторов микроклимата (ослабление солнечной радиации при затенении почвы, перехват осадков кронами деревьев и др.). Так, ель, затеняя почву, вытесняет из-под своего полога светолюбивые виды, формируя среду для поселения теневых и теневостойчивых видов.

Посредником при косвенных трансабиотических взаимоотношениях часто выступает лесная подстилка, которая порой может достигать нескольких сантиметров. Подстилка препятствует проникновению и прорастанию семян, которые большей частью гибнут от высыхания раньше, чем корни проростков достигнут почвы. Если же семена достигнут почвы и прорастут, то подстилка может являться серьезным механическим препятствием на пути ростков к свету.

Еще один путь взаимовлияния растений – взаимодействие между ними посредством различных химических выделений. Растения в результате жизнедеятельности выделяют в окружающую среду различные химические вещества, воздействие которых по-разному сказывается на других растениях. Такие химические взаимовлияния получили название **аллелопатии** (от греч. «аллелон» – взаимный и «патос» – страдание). К основным аллелопатическим веществам относятся выделения высших растений (колины и фитонциды) и вещества, выделяемые микроорганизмами (антибиотики). Например, выделения фасоли отрицательно сказываются на рост яровой пшеницы. Корневые выделения пырея воздействуют на растущие вблизи другие травянистые растения и даже деревья. Благодаря выделению корнями токсических веществ ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella*) из семейства сложноцветных вытесняет

многие однолетние растения и нередко образует обширные чистые заросли. Фитонциды, выделяемые листьями черемухи, убивают различные виды бактерий, отпугивают мух. Большое количество летучих веществ, токсичных для многих микроорганизмов, выделяют можжевельник, сосна, тополь, эвкалипт.

Некоторые грибы и бактерии синтезируют антибиотики, которые тормозят рост других бактерий.

Разные виды растений по различному воздействуют на среду. Влияние отдельных из них настолько велико, что они активно и глубоко преобразуют ее. Примером может служить ель, образующая древостой со своим господством. Она сильно затеняет почву, обедняет ее питательными веществами, опадающие иголки создают более кислую среду. Все это определяет специфичность обитания организмов в ельнике. Виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду, определяют специфичность местообитания, называют **эдификаторами** (от греч. «эдос» – местопребывание и лат. «фацере» – делать).

Сильной эдификаторной способностью обладает береза, поселяясь на вырубках хвойных лесов. Поглощая минеральные вещества из почвы, она многие из них возвращает в виде опада (листья, кусочки коры, ветки и т.п.). Особенно интенсивно она вовлекает в круговорот азот и зольные элементы. В почве усиливаются процессы нитрификации. Она обогащается гумусом, улучшает структуру, изменяет окраску, становится более рыхлой, повышается ее биологическая активность, оживляется деятельность почвенной фауны и флоры.

Такой же сильной эдификаторной деятельностью обладают такие древесные породы, как ель, ольха, осина, дуб. Среди трав можно назвать бобовые, мать-и-мачеху (*Tussilago farfara*), виды рода полынь (*Artemisia*), распространенного сорняка огородов мокрицу (*Stellaria media*) и др.

Зоогенные факторы – это воздействие животных друг на друга и на окружающую среду. К зоогенным факторам также относится потребление животными растительной пищи. Такие животные носят название **фитофаги** (от греч. «фитон» – растение и «фагос» – пожирающий). Фитофагами могут быть крупные животные (лоси, олени, косули, кабаны), мелкие зверьки (зайцы, белки, мышевидные грызуны), разнообраз-

ные птицы (рябчик, тетерев, глухарь), многочисленные представители насекомых-вредителей и др.

Контактируя с растениями или употребляя их в пищу, животные способствуют распространению их семян. В одних случаях семена и плоды распространяются путем случайного прикрепления к животным (к шерсти, перьям, лапам, клювам и т.п.). Нередко распространение семян связано с поеданием животными плодов. При этом значительная часть семян гибнет, проходя через пищеварительный тракт, но некоторые не повреждаются и, попав в землю, прорастают. Например, после прохождения растительной массы через пищеварительный тракт крупного рогатого скота, сохраняют способность прорасти более половины семян подорожника ланцетолистного (*Plantago lanceolata*) и более четверти семян ромашки непахучей (*Matricaria inodora*).

Животные, воздействуя на растения, наносят им серьезные повреждения. Лоси и олени, помимо обдираания коры на деревьях, уничтожают молодую древесную поросль, объедая верхушки кустарников и древесного подроста. Бобры, питаясь древесиной осины, довольно быстро изреживают ее насаждения. Глухари, ошипывая хвою и почки сосны и ели, тем самым замедляют их рост.

К зоогенным факторам относится воздействие насекомых на листовую поверхность древесных пород и травянистых растений. Насекомые (тли, клопы) не только отсасывают у растений питательные вещества, но и переносят возбудителей их заболеваний.

Много вреда растениям наносят землерои (кроты, суслики). Они поедают не только надземные части растений, но и клубни, луковицы, корневища. Среднеазиатский суслик в течение вегетационного периода уничтожает до 60 % побегов осоки вздутой (*Carex inflata*), которая является там основным компонентом растительного покрова.

Воздействие животных на растения довольно многообразны и сказываются на регулировании численности видов в природных сообществах.

Действие зоогенных факторов непосредственно в среде животных (воздействие животных друг на друга) проявляется главным образом в виде паразитизма (см. выше), хищничества и конкуренции (об этих взаимодействиях речь пойдет в следующей главе).

3.4. Антропогенные факторы

Земля имеет оболочку; и у этой оболочки есть болезни. Одна из таких болезней называется человек.

Фридрих Ницше

Из всех ныне действующих экологических факторов наиболее многообразны и существенны антропогенные. К ним относится любое воздействие человека на окружающую среду (как непосредственное, так и опосредованное). Это то воздействие, которое оказывает человек своей деятельностью на организмы, биогеоценозы, ландшафты, биосферу.

Среди множества антропогенных факторов можно выделить следующие их группы по направленности действия фактора:

- изменение структуры земной поверхности;
- изменение состава биосферы, круговорота и баланса входящего в нее вещества;
- изменение энергетического и теплового баланса отдельных участков и регионов;
- изменения, вносимые в биоту (исторически сложившийся комплекс живых организмов какой-либо территории).

Переделывая природу и приспособлявая ее к своим потребностям, человек изменяет среду обитания животных и растений, влияя тем самым на их жизнь. Воздействие может быть косвенным и прямым.

Косвенное воздействие осуществляется путем изменения ландшафтов, климата, физического состояния и химизма атмосферы и водоемов, строения поверхности земли, почв, растительности и животного населения. Человек сознательно и бессознательно истребляет или вытесняет одни виды растений и животных, распространяет другие или создает для них благоприятные условия. Для культурных растений и домашних животных человек создал в значительной степени новую среду, многократно увеличив продуктивность освоенных земель. Но это исключило возможность существования многих диких видов.

Увеличение народонаселения Земли и развитие науки и техники привели к тому, что в современных условиях очень трудно найти участки, не затронутые деятельностью человека (девственные леса, луга, степи и т.д.). Неправильная распашка земель и неумеренный выпас скота не только привели к гибели естественных сообществ, но и усилили водную и ветровую эрозию почв и обмеление рек.

Прямое воздействие направлено непосредственно на живые организмы. Например, нерациональное рыболовство и охота резко сократили численность ряда видов. Нарастающая сила и убыстряющиеся темпы изменения природы человеком вызывают необходимость ее охраны.

Влияние антропогенного фактора постепенно усиливалось, начиная от эпохи собирательства (где оно мало чем отличалось от влияния животных) до наших дней, эпохи научно-технического прогресса и демографического взрыва. В процессе своей деятельности человек создал большое количество самых разнообразных сортов растений и пород животных, существенным образом преобразовал естественные природные комплексы. Изменения, производимые человеком в природной среде, создают для одних видов благоприятные условия для размножения и развития, для других – неблагоприятные. И, как результат, между видами создаются новые численные отношения, перестраиваются пищевые цепи, возникают приспособления, необходимые для существования организмов в измененной среде.

Человек, распахивая целинные и залежные земли, создает сельскохозяйственные угодья (агроценозы, агроэкосистемы), выводит высокопродуктивные и устойчивые к заболеваниям формы, расселяет одни и уничтожает другие виды. Эти воздействия часто являются положительными, но нередко носят отрицательный характер, например необдуманное расселение многих животных, растений, микроорганизмов, хищническое уничтожение целого ряда видов, загрязнение среды и др.

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.

К случайным относятся воздействия, происходящие в природе под влиянием человеческой деятельности, но не были заранее предусмотрены и запланированы им, и таких примеров немало: распространение различных вредителей, паразитов, случайный завоз различных организмов с грузом, непредвиденные последствия, вызванные сознательными действиями в природе, например нежелательные явления, вызванные осушением болот, постройкой плотин, распашкой целины и др.

Во время трагических косовских событий в Югославии был ослаблен пограничный фитосанитарный контроль и с не-

досмотренным грузом в самолете в международный аэропорт Белграда был занесен из США кукурузный жук диабротика, распространившийся на Балканах, в Румынии, Венгрии, наносящий огромный ущерб посевам кукурузы и представляющий реальную опасность для южных регионов России.

В конце XX в. ученые-ботаники на острове Тайвань забили тревогу. Виной всему оказался миниатюрный водный папоротник *Salvinia molesta*, что в переводе с латыни означает «немного раздражающая». Его привезли из Шри-Ланки (бывший Цейлон), и он быстро приобрел популярность. Вначале папоротник содержали только в аквариумах, но он случайно попал в местные водоемы. Папоротник 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.

Можно привести еще один аналогичный пример неразумного вмешательства человека в природу пятого континента. Он связан с представителем другого вида рода сальвинии – с сальвинией плавающей (*Salvinia natans*) (кстати, данный вид произрастает и у нас, на юге Беларуси). Папоротник этот обычен для водоемов тропических и субтропических стран. В начале 60-х гг. XX в. 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 в отсутствие 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 1,5 тыс. 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.

3.5. Концепция лимитирующих факторов

В 1840 г. немецкий ученый-агрохимик Юстус Либих выпустил небольшую книгу «Химия в приложении к земледелию и физиологии». В ней он описал 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). Он писал: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени».

Юстус Либих (1803–1873) родился в Дармштадте (Германия). Его отец, владелец аптекарского магазина, держал за городом небольшую примитивную мастерскую (точнее, лабораторию) для изготовления некоторых своих товаров. Поэтому юный Либих познакомился с химией довольно рано.

Осенью 1820 г. исполнилось его сокровенное желание: изучать химию в университете в Бонне. Еще через два года Либиху была присуждена стипендия, которая дала ему возможность продолжить образование в Париже.

Свою первую работу, посвященную связи между неорганической химией и химией растений, Либих опубликовал, будучи двадцатилетним парижским студентом. За эту работу ему присвоили докторскую степень.

Если считать, что гумус (перегной) и вода – основные источники питания растений, то можно объяснить колебания в урожайности и предсказать, как будет меняться плодородие почв. Это долгое время никем не подвергалось сомнению. Но однажды Либих выступил с новой трактовкой давно известных вопросов. Он подробно рассмотрел круговорот химических элементов в живой и неживой природе и сделал вывод: **в растениях обязательно содержатся десять химических элементов – углерод, водород, кислород, азот, фосфор, кальций, калий, сера, магний и железо.** Среди этих элементов лишь азот, кислород, водород и углерод всегда присутствуют в природе в достаточном растению количестве: ведь это элементы, которые входят в состав воды и воздуха.

Остальные шесть элементов растения черпают из почвы, и если хотя бы одного из них не хватает, срывает «закон минимума», согласно которому элемент, которого меньше, чем нужно, и определяет плодородие (или, наоборот, неплодородие) почвы.

Либих утверждал, что «основным принципом земледелия следует считать требование, чтобы почве в полной мере было возвращено то, что у нее было взято. В какой форме будет осуществлен этот возврат – в виде навоза животных, в виде золы или костей – это более или менее безразлично. Наступает время, когда пашня и каждое растение будет обеспечено необходимым для него удобрением, которое будет изготавливаться на химических заводах».

Либих считается одним из основоположников агрохимии и биохимии. Он обосновал теорию минерального питания растений и создал научные основы повышения плодородия почвы. Исследовал роль углекислого газа и связанного азота в физиологии растений. Изучал проблемы питания, предложил делить пищевые продукты на жиры, белки и углеводы, установил, что жиры и углеводы служат для организма своего рода топливом. Человечество обязано Либиху многим. Своими открытиями он обеспечил основу пропитания населения планеты: изобрел минеральные удобрения, разработал рецепт хлеба из муки грубого помола с отрубями и мясной экстракт, изобрел пекарский порошок и кофейный экстракт, разработал некоторые виды детского питания.

Либих коренным образом перестроил существовавшую до него систему преподавания химии, введя в широком масштабе лабораторные занятия и самостоятельные исследования студентов. Его система распространилась за пределы Германии и до сих пор является общепринятой во многих странах.

Среди основных его трудов «Органическая химия в ее приложениях к физиологии и патологии» (*Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie*, 1842), и «Естественные законы земледелия» (*The natural laws of husbandry*, 1865).

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 минимума Либиха** гласит: «**Рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве (минимуме)**». В современной формулировке закон минимума звучит так: выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. 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.

Закон минимума Либиха можно пояснить на таких примерах. Пусть в почве содержатся все элементы минерального питания, необходимые для данного вида растений, кроме одного из них, например бора или цинка. Рост растений на такой почве будет сильно угнетен или вообще невозможен. Если же мы добавим в почву нужное количество бора (цинка), это приведет к увеличению урожая. Но если мы будем вносить любые другие химические соединения (например, азот, фосфор, калий) и даже добьемся того, что все они будут содержаться в оптимальных количествах, а бор (цинк) будет отсутствовать — это не даст никакого эффекта. Точно также если кислотность (рН) почвы отклоняется от оптимума, например для озимой ржи, то никакие агротехнические мероприятия, кроме снижающего кислотность известкования, не помогут существенно увеличить урожайность этой культуры.

Следует заметить, что наиболее четко закон минимума соблюдается тогда, когда речь идет о незаменимых ресурсах. Например, если растению не хватает фосфора, то повысить урожай этого растения выше некоторого предела невозможно, даже если фосфор заменить увеличенной дозой натрия, азота, калия, либо какого-нибудь другого элемента. Поскольку функции фосфора в биохимических процессах не могут выполняться никакими другими элементами, очевидно, что именно фосфор следует добавить, чтобы урожай превысил достигнутый ранее предел.

При формулировке 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. Такими факторами могут быть конкуренция со стороны другого вида, присутствие хищника или паразита.

В Мировом океане, к примеру, 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. Здесь наблюдается значительное увеличение численности популяций рыб. Процесс апвеллинга поддерживает также и многочисленные популяции морских птиц, которые откладывают на берегах и островах огромные массы так называемого гуано, богатого нитратами и фосфатами. Зоны апвеллинга – это наиболее рыбопродуктивные области океанов, где особенно развит рыбный промысел.

Изучая различное лимитирующее действие экологических факторов на насекомых, американский зоолог Виктор 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 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 (рис. 3.5).

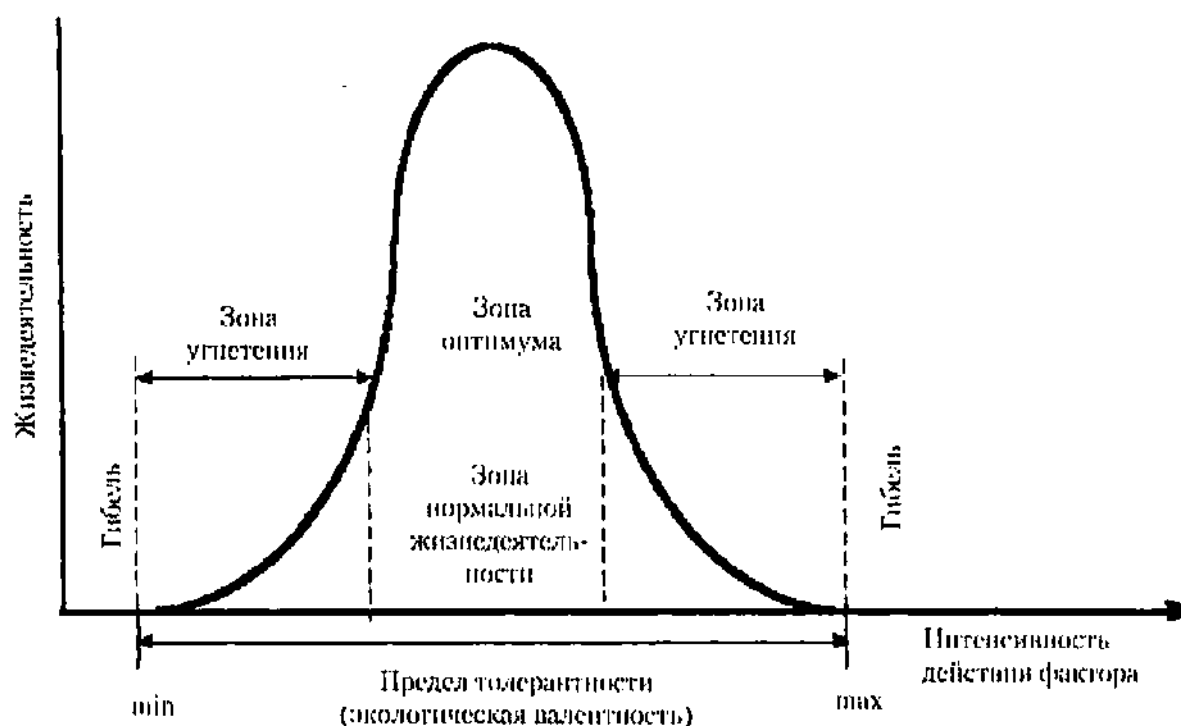


Рис. 3.5. Зависимость результата действия экологического фактора от его интенсивности

Благоприятный диапазон действия экологического фактора называется *зоной оптимума* (нормальной жизнедеятельности). Чем значительнее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность популяции. Этот диапазон называется *зоной угнетения*. Максимально и минимально переносимые значения фактора — это критические точки, за пределами которых существование организма или популяции уже невозможно.

Для выражения степени толерантности в экологии применяются термины, использующие приставки *стено-* (узкий) и *эври-* (широкий). Маловыносливые организмы, узкоограни-

ченные каким-либо экологическим фактором и способные обитать только в условиях устойчивого постоянства этого фактора называют **стенобионтами**. К ним обычно принадлежат многие паразиты, виды, обитающие на океанических глубинах, в пещерах, тропических лесах. Напротив, организмы, способные существовать при широких амплитудах изменчивости факторов окружающей среды, называют **эврибионтами**. Они способны выносить широкую амплитуду интенсивности различных экологических факторов. К ним относятся многие наземные животные. Например, ареал обитания лисицы распространяется от лесотундры до степей.

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: эвритермные организмы, имеющие широкий температурный интервал (многие насекомые), стенотермные организмы, приспособившиеся к узкой амплитуде температур (для растений тропических лесов колебания температуры в пределах $+5... +8^{\circ}\text{C}$ могут быть губительными) (рис. 3.6).

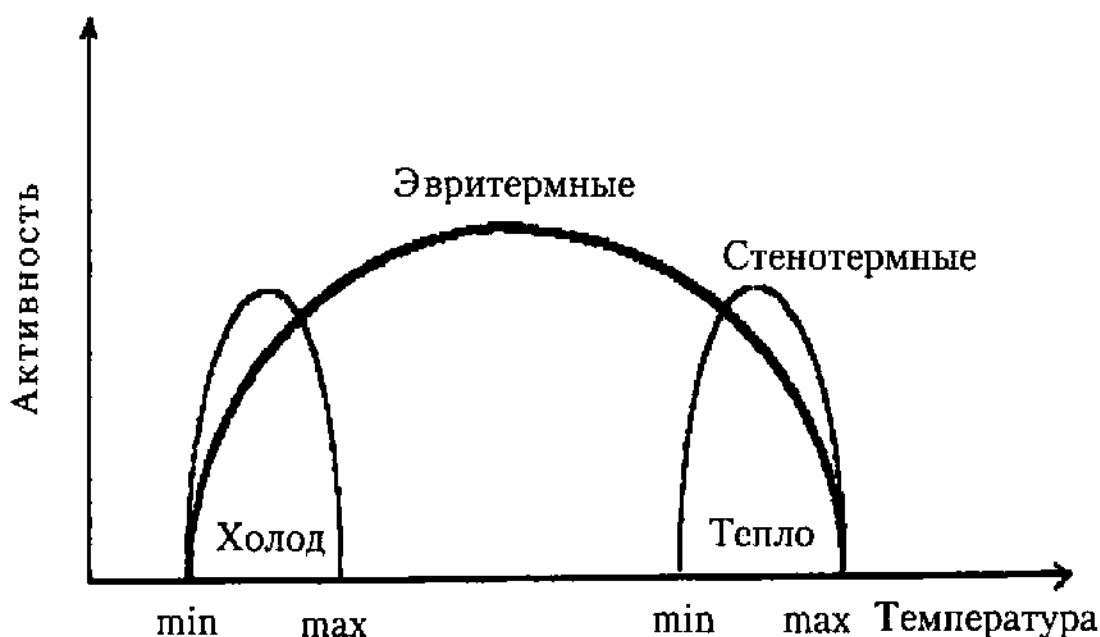


Рис. 3.6. Пределы толерантности стенотермных и эвритермных организмов

Таким образом, по отношению к определенным экологическим факторам организмы могут подразделяться:

- на стенотермные – эвритермные (по отношению к температуре);
- стеногидрические – эвригидрические (по отношению к воде);

- стеногалинные – эвригалинные (по отношению к солености);
- стенофагные – эврифагные (по отношению к пище);
- стеноойкные – эвриойкные (по отношению к местообитанию);
- стенобатные – эврибатные (по отношению к давлению воды).

Как отмечают многие экологи, смысл закона толерантности вполне понятен. Плохо как недокормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона вытекает следующее: 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.

3.6. Биологические ритмы и фотопериодизм

В жизни человека нет ничего более властного, чем ритм.

И.П. Павлов

Живые организмы не только приспосабливаются к физическим (абиотическим) факторам среды в том смысле, что переносят их различные 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 существует 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. Хорошо известны такие примеры, как периоды ухода 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 тыс. км. Белые аисты проводят лето в Европе, а на зиму улетают за 13 тыс. км в Южную Африку. Краснозобая колибри мигрирует через Мексиканский залив, покрывая расстояние в 1000 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 6 млн 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.

Главный признак ритмических процессов – их *повторяемость*. Под ритмами понимают периодически повторяющиеся явления природы. Ритмы, регистрируемые в живом мире, именуются биологическими. **Биологические ритмы – это регулярные количественные и связанные с ними качественные изменения биологических процессов, происходящие на разных уровнях организации живого: молекулярно-генетическом, клеточном, тканевом, органном, организменном, популяционно-биосферном.** По степени зависимости от внешних условий биоритмы разделяют на экзогенные и эндогенные.

Ритмы *экзогенные* регулируются внешними факторами (зависят от ритмики геофизических и космических факторов: фотопериодизма, температуры окружающей среды, атмосферного давления, ритма космического излучения, гравитации и т.д.).

Ритмы, задаваемые внутренними часами, или водителями ритма, называются *эндогенными*. 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. Следует отметить, что большинство биологических ритмов смешанные, т.е. частично эндогенные и частично экзогенные.

Эндогенные активные ритмы совершаются при постоянных внешних условиях, лежащих в нормальных пределах для жизнедеятельности. К ним относятся многие микроритмы и все экологические ритмы.

В условиях относительного постоянства геофизических факторов установлены ритмы жизнедеятельности с периодом не строго в 24 ч, а несколько большими или меньшими. Такие околосуточные ритмы, легко синхронизирующиеся с суточными геофизическими факторами называются циркадными (или циркадианными – от лат. *circa* – около, *dies* – день), или околосуточными ритмами. Циркадные ритмы имеют особую значимость для живых организмов на Земле. Они имеют такое же фундаментальное значение, как и генетический код. Сутки в 24 ч не выдуманы человеком, приро-

да сама тесно связала жизнь на нашей планете с движением Земли и Солнца. Этот постоянный 24-часовой ритм геофизических параметров не мог не оказать могучее влияние на становление жизни и ее эволюцию (роль естественного отбора).

Биоритм – это наиболее выразительная часть процессов адаптации. В настоящее время хронобиология заняла особое место в экологии человека. Сущность здоровья и его количество рассматривается в хронобиологическом освещении.

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 суточные перемещения этих светил.

Можно привести 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.

Поскольку природа биологических ритмов недостаточно изучена, остается открытым вопрос о принципах временной организации живого, о том механизме отсчета времени, который определяет ритмичность биологических процессов и именуется как *биологические* или *физиологические часы*. ***Биологические часы – это способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами.***

Результаты многочисленных исследований, проведенных на животных, подтверждают представление о том, что суточные ритмы контролируются какими-то эндогенными механизмами, которые связаны с биологическими часами. Некоторые исследователи причину ритмичности биологических процессов видят в плохо изученных и нераспознанных ритмических геофизических факторах, прежде всего в электромагнитных колебаниях, и считают, что биоритмы – это результат

ритмичности недостаточно изученных космических факторов, однако подавляющее большинство исследователей пришли к выводу, что биологические часы локализируются внутриклеточно.

Истоком биоритмологии является ботаника. Чарлз Дарвин в 1880 г. в книге «О способности растений к движениям» указал на внутреннюю природу периодичности. Еще раньше, в 1751 г., выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней создал часы из цветов. Он детально изучил ритм раскрытия бутонов у различных видов цветковых растений и даже написал труд «*Somnus plantarum*» («Сон растений»). Используя свои знания, он построил настоящие цветочные часы, которые были «запущены» в 20-х гг. 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 ч 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 имении Пушкиных, в селе Михайловском. В табл. 3.3 приведено время распускания и закрытия цветков у некоторых видов растений нашей флоры.

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.

Таблица 3.3. Растения-«часы»

Растения	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 волосистая (<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	6–7

Фотопериодизм – реакция организмов на суточный ритм освещения, соотношение длительности дня и ночи, выражающаяся в изменении процессов роста и развития.

Явление фотопериодизма было открыто в 1920 г. американскими учеными К. Гертнером и Г. Аллардом на растениях табака. Они показали что данные растения зацветают только лишь после выдерживания их на коротком фотопериоде в течение нескольких дней. В естественных условиях это происходит осенью, но короткий день (продолжительностью 7 ч) можно создать и искусственно, например в теплицах.

У растений такие явления, как цветение, образование плодов или семян, листопад и прорастание семян тесным образом связаны с сезонными изменениями длины дня и температуры. Некоторым растениям нужен длинный день (растения длинного дня, зацветание и плодоношение которых наступает при 8–12-часовом освещении), другим – короткий (для цветения

нужна продолжительность дня 12 ч и более), а некоторые — зацветают независимо от длины дня (растения нейтральные в отношении фотопериода) (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Типы фотопериодической реакции у растений:

a — 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 каких-то растений 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, гречиху, астры, подсолнечник. Растения длинного дня — белена, львиный зев, капуста, рожь, пшеница, многие луговые злаки, клевер, тысячелистник, цикорий, незабудка. 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.

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.

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

3.7. Жизненные формы организмов

Комплекс экологических факторов, составляющий специфику любого местообитания, требует от населяющих это место организмов и комплекса специфических приспособлений. Поэтому 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 приспособляются к сходным условиям среды. Такие типы приспособления выражаются в определенном морфологическом строении организмов и называются *жизненными формами*.

Жизненная форма – внешний облик живых организмов, отражающий их приспособленность к определенным условиям среды. Разнообразные жизненные формы 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). В основу классификации жизненных форм животных могут быть положены разные критерии (способы передвижения, добывания пищи и ее характер, степень активности, приуроченность к определенному ландшафту и т.д.).

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 животных. 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* (растительноядные, 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.

В основу выделения жизненных форм растений кладут пластичные признаки, такие, как *форма роста, ритм сезонного развития, степень защищенности от неблагоприятных условий наиболее уязвимых частей тела растения*. Основными жизненными формами растений можно считать травянистые и древесные формы. Деревья, кустарники и травы в качестве отдельных форм растений выделял еще Теофраст. 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, предложенная еще одним датским экологом и геоботаником Кристианом Раункиером в 1905 г. Классификация Раункиера, разработана в основном применительно к растениям умеренного пояса с неблагоприятным зимним сезоном. Этой классификацией широко пользуются и в регионах с неблагоприятным сухим сезоном.

По утверждению Раункиера реакцию растения на климат лучше всего характеризует высота, на которой оно располагает органы возобновления (почки, клубни, луковицы, корневища). Выбор высоты, на которой размещаются почки возобновления, позволяет растению лучше перенести неблагоприятное время года. Чем сложнее климатические условия (засушливый период, длительная холодная зима), тем ниже располагаются листья растений.

Таким образом, классификация жизненных форм Раункиера 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 пять главных типов (рис. 3.8).

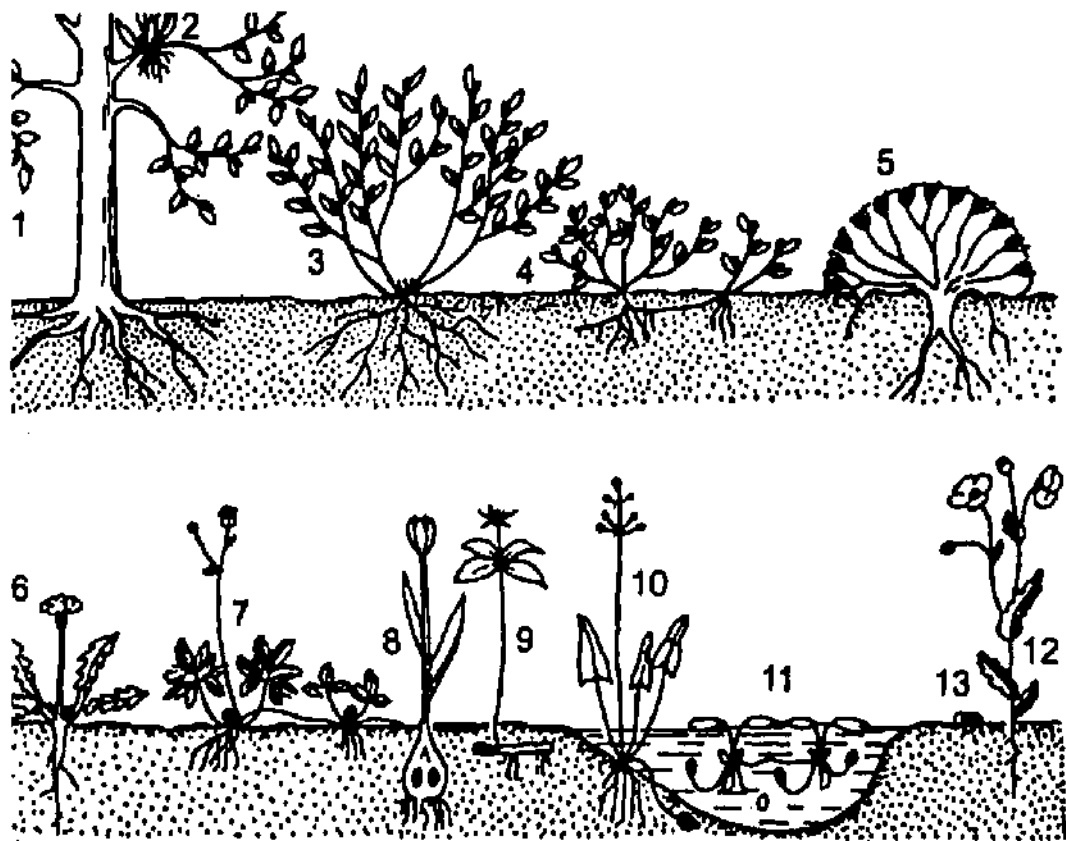


Рис. 3.8. Жизненные формы растений по Раункиеру:

1–3 – фанерофиты; 4, 5 – хамефиты; 6, 7 – гемикриптофиты; 8–11 – криптофиты;
12 – терофит; 13 – семя с зародышем

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 карликовые 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 растений период года находятся на уровне почвы. Они за-

щищены чешуями, опавшими листьями и снежным покровом. Стебли многих растений умеренной зоны могут отмирать на зиму, а летом снова отрастают. Часто почки возобновления таких растений окружает розетка зимующих листьев (подорожник). К этой группе относятся 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, с помощью которых растения переживают неблагоприятный период. Эти органы могут располагаться 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. Такие однолетники, а также однолетние растения с очень укороченным сроком развития (*эфемеры*) составляют важную часть флоры пустынь и полупустынь. В других климатических зонах эти растения представляют группу сорных трав.

Особую группу среди жизненных форм составляют растения, которые присутствуют одновременно во многих ярусах биоценоза, и отнести их к какой-то конкретной жизненной форме довольно затруднительно. Это **растения-эпифиты** – избравшие для себя другие растения в качестве среды обитания (они не являются паразитами!), а также различные лианы. К таким растениям относятся лишайники и мхи на стволах деревьев, многообразие лиан в тропических лесах, а также наши доморощенные лианы, такие, как хмель, паслен сладко-горький, плющ и др. Эти растения образуют группу внеярусной растительности.

Следует отметить, что один и тот же вид растений в различных условиях может иметь разные жизненные формы. Например, дуб и ель в лесной зоне или лесном поясе гор представляют собой обычные высокоствольные деревья, в то время как на Крайнем Севере они образуют кустарниковые и стланиковые формы.

Распределение жизненных форм растений, характерное для определенного географического региона, выраженное в процентах, называется спектром жизненных форм (табл. 3.4). 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.

Таблица 3.4. Спектры жизненных форм

Тип спектра	Фанеро- фиты	Хаме- фиты	Гемикрип- тофиты	Крипто- 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 умеренной 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

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

Кроме классификации Раункиера имеются и другие классификационные построения жизненных форм. В качестве примера можно привести наиболее разработанную подробную классификацию И.Г. Серебрякова. Он выделял типы, отделы, классы, подклассы, группы, подгруппы и секции жизненных форм. Серебряков создал целое научное направление – «экологическую систематику растений».

В основе системы Серебрякова лежит *онтогенез*, т.е. индивидуальное развитие побега в конкретных условиях существования. Так, в классификации Серебрякова выделяются типы: кустарники, кустарнички, деревья, монокарпические травы (монокарпики цветут и плодоносят один раз в жизни), поликарпические травы и т.д. Например, в типе по-

* Процент от общего числа изученных видов.

ликарических трав выделяются стержнекорневые поликарники, дерновые многолетники и др.

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 (рис. 3.9).

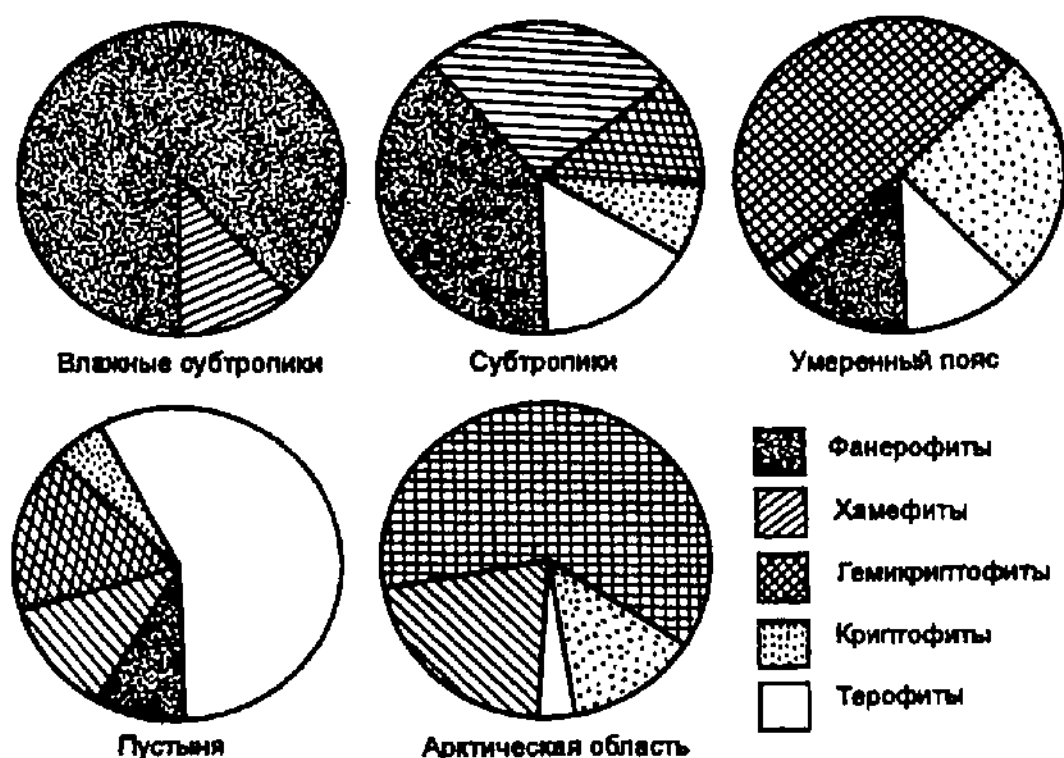


Рис. 3.9. Соотношение участия жизненных форм растений в местностях, расположенных в разных областях земного шара (по системе Раункиера)

ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Понятие «популяция» должно ассоциироваться в нашем сознании не с застывшей музейной коллекцией, а с оживленным аэропортом, куда постоянно одни люди прибывают, а другие убывают.

А.М. Гиляров

Экспериментальный материал, накопленный в экологии к первой четверти XX в. привел к формированию нового подхода при его анализе. Постепенно экологи, наряду с изучением морфологии, физиологии и поведения *отдельных организмов и видов* (аутэкология), перешли к исследованию свойств *группировок совместно обитающих особей* того или иного вида, положив начало развитию нового направления в экологии.

Совокупность особей одного вида, обитающая длительное время на определенной территории, носит название популяции. Направление экологии, изучающее динамику популяций, описываемую рядом характеристик, называется **демэкология**.

Хотя термин «популяция» получил широкое распространение в первой половине XX в., корни этого понятия обнаруживаются еще в древних литературных источниках. Уже в трудах Аристотеля можно найти указания на связи между организмами, сожительством животных и формами 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 укоренялся 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 об особом явлении органического мира отсутствовало. Уточнение понятия «популяция» связано с бурным развитием в XX в. таких биологических наук, как генетика и экология.

4.1. Определение популяции

Термин «популяция» был заимствован из демографии, где он обозначал народ, население (от лат. *populus*). Под популяцией понимается любая совокупность особей одного вида, проживающая длительное время на определенной территории, свободно скрещивающаяся друг с другом и дающая плодовитое потомство.

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 из них ставил перед собой. Можно изучать популяцию колорадского жука, населяющего отдельный лист картофеля, исследовать совокупность всех колорадских жуков на кусте картофеля в целом или же изучать этих насекомых на всем картофельном поле.

Существует множество определений популяции, что говорит о неоднозначности понятия этого термина разными биологами и экологами. Приведем несколько из них. Прежде всего, одно из классических определений С.С. Шварца – эколога животных. В его определении *популяция – это элементарная группировка особей одного вида, занимающая определенную территорию и обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания стабильности длительное время в меняющихся условиях среды*. Нетрудно заметить, что он определял популяцию с эволюционно-экологических понятий.

С позиции современной генетики *популяция – это совокупность особей одного вида, имеющих общий генофонд и населяющих определенное пространство, с относительно однородными условиями обитания* (Н.Ф. Реймерс).

Экологический аспект популяционной биологии в отличие от генетико-эволюционного направлен на изучение «повседневной» жизни популяции как формы существования вида в конкретных экосистемах. С этих позиций характерно определение популяции, данное И.С. Шиловым: *популяция – это группировка особей одного вида, населяющих определенную территорию и характеризующихся общностью морфобиологического типа, специфичностью генофонда и системой устойчивых функциональных взаимосвязей*.

Таким образом, представление о популяции микробиолога, изучающего бактерии, может отличаться от того, что вкладыв-

вает 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, как и штаммы различных бактерий в чашках Петри у микробиологов. И, тем не менее, несмотря на разночтения, определению понятия «популяция» и ее основных свойств должно быть уделено пристальное внимание.

В наиболее общей форме популяцию можно охарактеризовать как группу организмов одного конкретного вида, обитающих совместно на отдельной территории и обладающих общими свойствами. Исходя из такого определения популяцией можно назвать 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.

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 популяция 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.

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.

В некоторых случаях эколог трактует изучаемую совокупность особей как популяцию, тогда как генетик выделяет в ее пределах группы особей, не родственные друг другу и не обменивающиеся 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.

Важнейшим признаком популяции является занимаемая ею общая территория. Но в пределах популяции могут быть более или менее изолированные по разным причинам группировки. Поэтому дать исчерпывающее определение популяции затруднительно из-за размытости границ между отдельными группами особей.

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 5 дней уничтожила 7 тыс. т апельсинов (по 60 т/ч). Эта 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 (в Северной Африке), и население этих стран – 800 тыс. человек! – умерло от голода.

Явления, когда стаи саранчи покрывают воздушное пространство на площади в 5–12 км², совсем не редки. В такой стае

насчитывается от 700 млн до 2 млрд насекомых, а общий их вес составляет около 3 тыс. т (2,5 т/га). Мало того, известны случаи, когда стаи саранчи сплошь затмевали небо на 250 км². 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...

Оценить влияние саранчи на природу Малой Азии и Средиземноморья можно, опираясь на цитату В.И. Вернадского: «Я несколько лет тому назад попробовал более понятно выразить вес одной тучи саранчи, наблюдавшейся доктором Краутером над Красным морем в 1889 г. до организации международной борьбы с саранчей. Вес этой тучи отвечал $4,4 \cdot 10^7$ т. Он был почти равен весу меди, цинка и свинца вместе взятых, выработанных человечеством в течение столетия (XIX в. — *Прим. авт.*). Туча саранчи — как бы горная порода в движении». Добавим к этому, масса, обладающая колоссальным потенциалом биологического обмена!

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.

Таким образом, резюмируя, можно сказать, что популяция — это часть вида (состоит из особей одного вида), занимающая относительно однородное пространство и способная к саморегулированию и поддержанию определенной численности. Каждый вид в пределах занимаемой территории, таким образом, распадается на популяции, т.е. состоит из одной или нескольких, и популяция, таким образом, — это форма существования вида, его наименьшая эволюционирующая единица.

Любая популяция характеризуется показателями, присущими только им, имеет определенную организацию и структуру. Такие признаки могут выражаться статистическими функциями, т.е. популяцию и ее свойства можно описать с использованием математического аппарата. Таковы, например, структура, плотность, численность, рождаемость, смертность. Некоторые характеристики популяций взаимосвязаны: смертность определяет структуру, рождаемость — плотность и т.д.

Следует подчеркнуть, что между отдельным организмом и популяцией организмов существует принципиальная разни-

ца. Как капля воды не отражает свойства реки, озера, океана, так и организм, взятый в отдельности, не может характеризовать всю популяцию в целом.

Единственным носителем признаков популяции является группа особей, но не отдельные 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 каждой слагающей ее особи.

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 (соотношение количества особей различного возраста), половой (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 D_t . Кроме этого, для популяции характерно наличие сложных взаимоотношений с окружающей ее средой.

4.2. Пространственная структура популяций.

Типы пространственного распределения

Под ***пространственной структурой*** популяции понимают особенности и характер размещения особей популяции в пространстве.

Пространственная структура имеет важное экологическое значение. Прежде всего, определенный тип использования территории позволяет популяции эффективно использовать ресурсы среды и снизить внутривидовую конкуренцию. Эффективность использования среды и снижение конкуренции между представителями популяции позволяют ей укрепить свои позиции по отношению к другим видам, населяющим данную экосистему.

Другое важное значение пространственной структуры популяции состоит в том, что она обеспечивает взаимодействие особей внутри популяции. Без определенного уровня внутрипопуляционных контактов популяция не сможет выполнять как свои видовые функции (размножение, расселение), так и функции, связанные с участием в экосистеме (участие в круговоротах веществ, создание биологической продукции и так далее).

Одним из важных параметров, определяющих пространственную структуру, является численность особей в популяции. Наблюдая за свойствами различных популяций, будь-то популяции животных или растений, можно видеть, что численность их бывает очень разной. Это 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.

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 в ней.

Проявляя заботу о сохранении вида, человек должен прежде всего думать о сохранении популяции. Для популяций различных видов существуют допустимые пределы снижения численности особей, за которыми существование популяции становится невозможным. Точных данных о критических значениях численности популяций в литературе нет. Приводимые значения разноречивы. Остается, однако, несомненным факт, что чем мельче особи, тем выше критические значения их численности. Для микроорганизмов это миллионы особей, для насекомых – десятки и сотни тысяч, а для крупных млекопитающих – несколько десятков. Численность не должна уменьшаться ниже пределов, за которыми резко снижается вероятность встречи половых партнеров. Критическая численность также зависит от других факторов. Например, для некоторых организмов специфичен групповой образ жизни (колонии, стаи, стада). Группы внутри популяции относительно обособлены. Могут иметь место такие случаи, когда численность популяции в целом еще достаточно велика, а числен-

ность отдельных групп уменьшена ниже критических пределов. Например, колония (группа) перуанского баклана должна иметь численность не менее 10 тыс. особей, а стадо северных оленей – 300 – 400 голов.

Определение численности популяции кажется простым только на первый взгляд. Хорошо, если мы имеем дело с особями, постоянно проживающими на данной территории: растения, оседлые, малоподвижные или крупные животные. В этом случае используется наиболее простой способ определения численности – простой подсчет всех особей.

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. Зоологи могут облететь на самолете места скопления животных и подсчитать поголовье оленей в стаде. В этом случае можно провести довольно точный подсчет особей, слагающих популяцию.

Еще легче подсчитать все деревья на определенной лесной площади или травянистые растения на луговой делянке. А как быть, к примеру, с мигрирующими или кочующими животными, рыбным населением водоемов, планктонными организмами и т.п.?

Здесь практикуются другие оценки численности популяции. Для этого используются различные способы. Один из них – мечение или кольцевание. 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.

Гидробиологи, изучающие мелких и мельчайших придонных животных, употребляют дночерпатель, который позволяет оценить количество особей на определенной поверхности слоя грунта. Изучающие планктон, пользуются особым прибором – батометром, захватывающим определенный объем воды с находящимися там мелкими организмами.

В тех же случаях, когда оценить непосредственно общую численность популяций, растений или микроорганизмов не-

возможно, прибегают к закладке так называемых пробных учетных площадок (круглых или квадратных) или к отбору отдельных проб и дальнейшему подсчету числа особей в этих выборках. Полученные таким образом данные позволяют оценить плотность популяции.

Плотность популяции определяется как количество особей вида на единице площади (главным образом земной поверхности) или же в единице объема (водная среда, экспериментальная культура), например, 200 деревьев на 1 га, 50 человек на 1 км², 20 головастиков на 1 м³ воды. В некоторых случаях этот показатель оценивается через число 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 единице всего пространства, и экологическую плотность, т.е. количество особей на единице 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 виду, что репрезентативность выборки (соот-

ветствие показательности 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. Редингусом. 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»).

В результате скопления особей происходит образование групп разных размеров. Образование этих групп происходит по разным причинам: вследствие локальных различий в местообитаниях, под влиянием суточных и сезонных изменений погодных условий; в связи с процессами размножения и т.д.

Примеров такого группового распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с места 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 тыс. особей при средней плотности 3 гнезда на 1 м². Северо-американские северные олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженные могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя по пути всех, кто замешкался и 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. Такая оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности организмов, получила название «эффект группы».

Наиболее характерен он для животных и проявляется в ускорении темпов их роста, повышении плодовитости, более быстром образовании условных рефлексов, повышении средней продолжительности жизни и т.п. Например, у овец вне стада учащаются пульс и дыхание, а при виде приближающегося стада эти процессы нормализуются. У зимующих рыб, лягушек, моллюсков, насекомых наблюдается экономия энергетических затрат при скоплениях, что позволяет им наиболее комфортно перенести неблагоприятные условия. Таким образом, даже с учетом частных неблагоприятных отклонений эффект группы 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 встретить трудно, хотя нередко можно наблюдать размещение организмов, отклоняющееся от случайного в сторону большей регулярности. 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 равномерное расстояние. Как хрестоматийный пример равномерного распределения, обычно приводят распределение жука *Tribolium* в муке. Однако такие примеры «равномерного» распределения достаточно условны.

Регулярное распределение чаще всего можно наблюдать в искусственно созданных человеком сельскохозяйственных системах – садах, огородах. Так, при посадке можно распределить яблоневые деревья в саду, используя мерную ленту. В огороде таким образом можно высадить кусты ягодных культур, некоторые овощные растения.

4.3. Половая структура популяций

Половая структура популяции определяет соотношение в ней особей разного пола. Генетический механизм определения пола обеспечивает расщепление потомства по полу в отношении, близком 1 : 1. Это так называемое **первичное соотношение полов**. Оно определяется генетическими механизмами – равномерностью расхождения половых хромосом. Например, у человека XY-хромосомы определяют развитие мужского пола, а XX – женского. В этом случае первичное соотношение полов 1 : 1, т.е. равновероятно.

Однако в популяции соотношение полов, как правило, не равно 1 : 1 (количество самцов и самок различно). Это связано с тем, что сцепленные с полом признаки часто определяют значительные различия в физиологии, экологии и поведении самцов и самок. В связи с этим в популяциях часто наблюдается более высокая вероятность гибели представителей какого-либо пола, и значит, соотношение полов в популяции изменяется.

Такое соотношение полов при рождении и на ранних стадиях развития организмов, когда на генетическую обусловленность накладываются различные экологические факторы, называется **вторичным соотношением**. Оно может существенно отличаться от первичного по целому ряду причин: избирательностью яйцеклеток к сперматозоидам, несущим X-

или Y-хромосому, неодинаковой способностью таких сперматозоидов к оплодотворению, различными внешними факторами. Например, зоологами описано влияние температуры на вторичное соотношение полов у рептилий. Аналогичная закономерность характерна и для некоторых насекомых. Так, у муравьев оплодотворение обеспечивается при температуре выше 20 °С, а при более низких температурах откладываются неоплодотворенные яйца. Из последних вылупляются самцы, а из оплодотворенных — преимущественно, самки.

У некоторых видов пол изначально определяется не генетическими, а экологическими факторами. Например, корнеплод из семейства ароидных аризема японская дает растения с женскими цветами только из самых крупных и хорошо развитых клубней. Из мелких и слабых клубней образуются растения с мужскими цветами.

У некоторых животных (например, амфибий) такие факторы среды, как температура, содержание и концентрация гормонов могут влиять на развитие таким образом, что половые различия будут отличаться от первичного хромосомного набора. Так, в среднеевропейских популяциях травяной лягушки облик молодых животных отражает внешность самок. Лишь к концу второго года жизни половина из них превращается в самцов.

У муравьев, пчел и других общественных насекомых число цариц (самок, способных к половому размножению) в популяции регулируется рабочими особями посредством специфического питания.

Соотношение полов среди половозрелых, размножающихся особей, называется **третичным соотношением**. Половой состав на данной стадии развития организмов весьма динамичен и изменчив. Для человека и других млекопитающих отмечена общая закономерность, заключающаяся в уменьшении доли самцов в старших возрастных группах.

Например, у человека вторичное соотношение полов составляет 100 девочек на 106 мальчиков. По достижении 18-летнего возраста это соотношение выравнивается из-за повышенной мужской смертности. К 50 годам третичное соотношение составляет уже 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам — 50 мужчин на 100 женщин.

Следует отметить, что половая структура, т.е. соотношение полов, имеет прямое отношение к воспроизводству популяции и ее устойчивости.

4.4. Возрастная структура популяций

Важной характеристикой при исследовании популяции является ее возрастная структура, влияющая как на рождаемость, так и на смертность. Соотношение разных возрастных групп в популяции определяет ее способность к размножению и показывает ее перспективу. В быстрорастущих популяциях молодые особи составляют большую долю. Поэтому состояние популяции по прошествии определенного промежутка времени будет зависеть от ее нынешнего полового и возрастного состава.

Возрастной состав популяции наглядно отражают так называемые возрастные пирамиды, представляющие собой гистограммы возрастного распределения особей.

Если в популяции размножение происходит постоянно, то по возрастной структуре устанавливают – сокращается или увеличивается численность.

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;
- пострепродуктивную.

Длительность этих возрастов по отношению к общей продолжительности жизни сильно варьирует у разных организмов.

Как правило, наибольшей жизнеспособностью отличаются популяции, в которых все возрасты представлены относительно равномерно. Такие популяции называют **нормальными**. Если в популяции преобладают старые особи, это однозначно свидетельствует о наличии отрицательных факторов в ее существовании, нарушающих воспроизводительные функции. Такие популяции рассматривают как **регрессивные**, или **вымирающие**. Требуется срочные меры по выявлению причин такого состояния и их исключению. Популяции, представленные в основном молодыми особями, рассматриваются как **внедряющиеся**, или **инвазионные**. Жизненность их обычно не вызывает опасений, но велика вероятность всплеск чрезмерно высокой численности особей, поскольку в таких популяциях не сформировались трофические и другие связи. Особенно опасно, если такие популяции представлены видами,

которые здесь ранее отсутствовали. В таком случае эти популяции обычно находят и занимают свободную экологическую нишу и реализуют свой потенциал размножения, интенсивно увеличивая численность.

При благоприятных условиях в популяции имеются все возрастные группы и поддерживается сравнительно стабильный уровень численности. На возрастной состав популяции, помимо общей продолжительности жизни, влияют длительность периода размножения, число генераций в сезон, плодовитость и смертность разных возрастных групп. Например, у полевок взрослые особи могут давать потомство 3 раза в год или более, а молодые особи способны размножаться через 2–3 месяца.

В популяциях растений иногда наблюдается еще более сложная картина. Дубы, например, дают семенную продукцию в течение нескольких столетий. Как результат, популяции у них формируются из огромного количества возрастных групп.

Если популяция находится в нормальном или близком к нормальному состоянии, человек из нее может изымать то количество особей или биомассу (последний показатель обычно используется применительно к растительным сообществам), которая прирастает за промежуток времени между изъятиями. Ясно, что изыматься должны прежде всего особи послепродуктивного возраста (окончившие размножение). Если преследуется цель получения определенного продукта, то возраст, пол или другие характеристики популяций корректируются с учетом поставленной задачи.

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 из-за длительного развития личинок) 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 практически отсутствует, как у многих других видов.

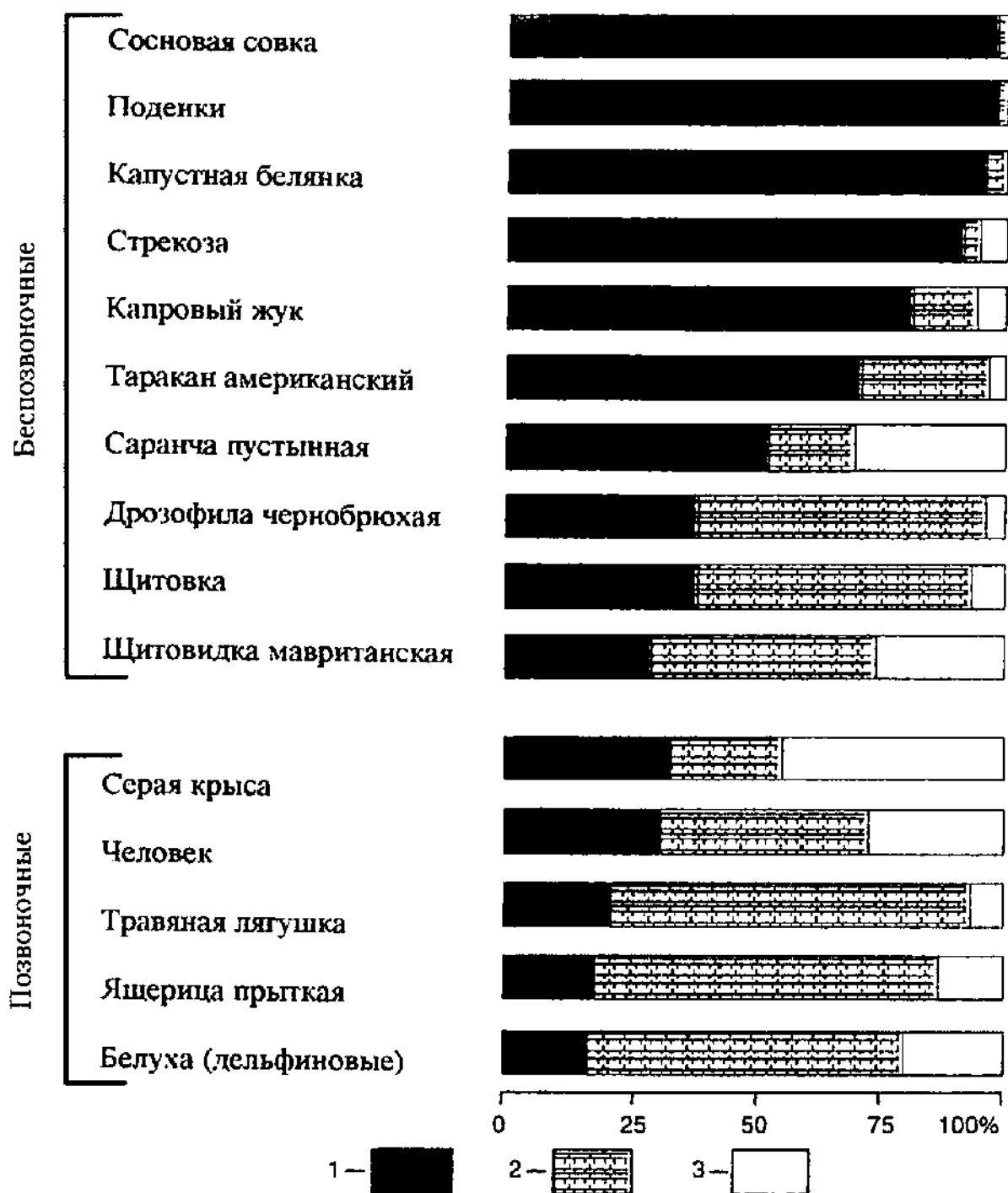


Рис. 4.1. Соотношение продолжительности пререпродуктивного (1), репродуктивного (2) и пострепродуктивного (3) периодов онтогенеза у некоторых видов

Иллюстрацией вышесказанному является рис. 4.1, на котором показано соотношение пререпродуктивного, репродуктивного и пострепродуктивного периодов у разных видов беспозвоночных и позвоночных животных.

Видно, что у поденок и сосновой совки пререпродуктивный период составляет более 95 % общей продолжительности жизни. У саранчи же и дрозофилы пререпродуктивный период не превышает 50 % общей продолжительности жизни.

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.

4.5. Динамические характеристики популяций

Естественные популяции это не раз и навсегда застывшая совокупность особей, а динамическое единство находящихся во взаимоотношениях организмов. Изменение в численности, структуре и распределении популяций как реакция на условия окружающей среды называется *динамикой популяции*.

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 – одна из основных характеристик популяции. Она определяется как число особей, рожденных в популяции за некоторый промежуток времени (час, день, месяц, год). При этом термин «рождаемость» характеризует появление особей любых видов, независимо от способов появления их на свет: будь это прорастание 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). Под **максималь-**

ной рождаемостью понимается теоретически возможный 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 сут, для диатомовой водоросли *Nitzschia putrida* – 16,8, для домашней мухи *Musca domestica* – 366, для курицы – около 6 тыс., для слона – 376 тыс. сут. Максимальная рождаемость постоянна для данной популяции.

Как уже сказано выше, любая популяция теоретически способна к неограниченному росту своей численности. Показатель такого неограниченного роста отражает **биотический потенциал** – теоретический максимум потомков от одной пары (или одной особи) за единицу времени (за год или за весь жизненный цикл) при реализации способности организмов увеличивать численность в геометрической прогрессии.

Биотический потенциал многих организмов, прежде всего наиболее мелких, огромен, и если бы ничто не сдерживало рост их популяций, то они чрезвычайно быстро заселили бы собой всю Землю. Обычно биотический потенциал тем выше, чем ниже уровень организации организмов. Так, дрожжевые клетки, размножающиеся простым делением, при наличии условий для реализации биотического потенциала могли бы освоить все пространство земного шара за несколько часов; гриб дождевик, приносящий до 7,5 млрд спор, уже во втором поколении освоил бы всю планету. Крупным организмам с низким потенциалом размножения потребовалось бы для этого несколько десятилетий или столетий.

Однако реализация биотического потенциала ограничивается действием различных экологических факторов и может проявляться только в отдельных случаях и в течение коротких промежутков времени. Например, если быстроразмножающиеся организмы (насекомые, микроорганизмы) осваивают какой-либо субстрат или среду, где нет конкурентов. Такие условия создаются, в частности, при освоении экскрементов крупных животных насекомыми, при размножении организмов в средах, богатых питательными веществами, например в загрязненных органическими и биогенными веществами водоемах и т.п. В этом случае увеличение численности идет по *J*-образной кривой. Такой тип роста носит название **экспоненциального**. Близкий к экспоненциальному тип роста характерен в настоящее время для популяции человека. Он

обусловлен прежде всего резким снижением смертности в детском возрасте (рис. 4.2).

Для большинства же популяций и видов выживаемость характеризуется кривой, которая отражает высокую смертность молодых особей или их зачатков (яйца, икринки, споры, семена и т.п.). Такая кривая носит название *логистической*.

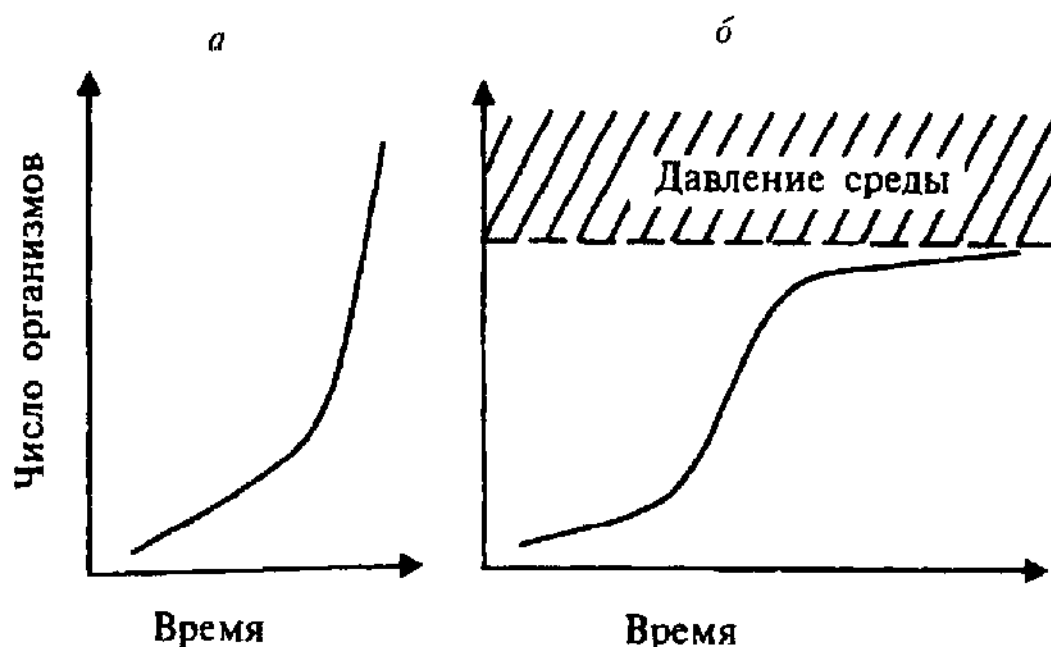


Рис. 4.2. Экспоненциальная (а) и логистическая (б) кривые роста популяций

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 непостоянная, 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*.

Удельная рождаемость определяется числом особей, родившихся за определенное время в расчете на одну особь в популяции.

Единица времени зависит от темпов и скорости размножения организма. Для бактерий это может быть час, для насекомых – сутки или месяц, для большинства млекопитающих данный процесс растягивается на месяцы. Предположим, что

в городе с населением 100 тыс. жителей родилось 8 тыс. человек. Абсолютная рождаемость составит 8 тыс. 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 1 ч ее численность возросла до 100 особей. Абсолютная рождаемость при этом составит 80 особей в 1 ч, а удельная рождаемость (средняя скорость изменения численности на особь в популяции) – 4 особи в 1 ч при 20 исходных.

Смертность – величина, обратная рождаемости. Это число погибших в популяции особей за единицу времени. 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.

В основном смертность и возрастная структура видов зависят от того, какие шансы для выживания имеют особи в различных возрастных группах. Наглядную информацию дает кривая выживаемости отдельных видов, полученная путем подсчета процента живых особей в отдельной популяции. Для большинства видов такая кривая обычно может быть одним из трех наиболее типичных вариантов (рис. 4.3).

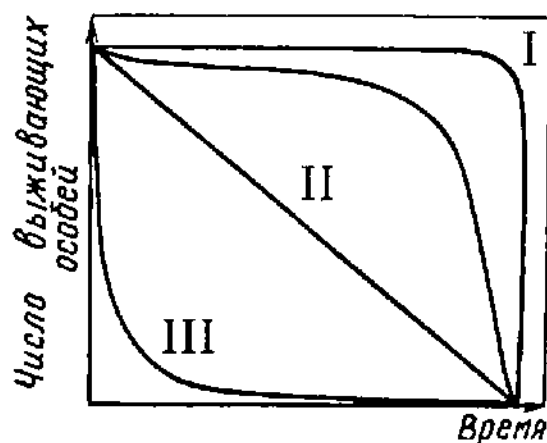


Рис. 4.3. Различные типы кривых выживаемости

У видов, для которых роль внешних факторов в смертности невелика, кривая выживания характеризуется небольшим понижением до определенного возраста, после которого происходит резкое падение вследствие естественной (физиологической) смертности. Кривая I типа довольно выпуклая и соответствует ситуации, при которой смертность ничтожно мала в течение большей части жизни, но затем резко возрастает, и за короткий срок наблюдается гибель всех особей.

Такое положение характерно для *бабочек-поденок, дрозофил* и других насекомых. Они, через некоторое время после выхода из куколок спариваются, а после откладывания яиц в массе гибнут. Обычно считают, что к такой кривой приближается выживание человека в высокоразвитых индустриальных странах. Этот тип носит название **типа дрозофилы**: именно его демонстрируют дрозофилы в лабораторных условиях (не поедаемые хищниками).

Кривая II типа представляет собой диагональ и соответствует постоянной, т.е. независимой от возраста смертности в течение всей жизни. Данный тип кривой выживания встречается среди *рыб, пресмыкающихся, птиц, многолетних травянистых растений*. Этот тип принято называть **типом гидры** — для нее свойственна кривая выживания, приближающаяся к прямой линии.

Для очень многих видов характерна высокая смертность на ранних стадиях онтогенеза. Кривая III типа сильновогнутая и отражает массовую гибель особей в начальный период жизни, а затем относительно низкую смертность оставшихся организмов. У таких видов кривая выживания характеризуется резким падением в области младших возрастов. Особи, переживающие «критический» возраст, демонстрируют низкую смертность и доживают до больших возрастов.

Данный тип кривой часто называют **типом устрицы**, потому что у этого моллюска на одной из стадий развития имеется планктонная личинка, и именно на этой стадии наблюдается чрезвычайно высокая смертность особей. Такая кривая свойственна *донным беспозвоночным, имеющим планктонных личинок, а также многим организмам, характеризующимся большой плодовитостью и отсутствием заботы о потомстве*. При этом типе смертности наблюдается максимальная гибель животных в личиночной стадии или в молодом возрасте, а у растений — в стадии прорастания семян и всходов. У насекомых до взрослых особей доживает 0,3–0,5 % от отложенных яиц, у многих рыб — 1–2 % от количества выметанной икры.

Изучение кривой выживания представляет большой интерес для эколога. Оно позволяет судить о том, в каком возрасте тот или иной вид наиболее уязвим. Если действие причин, способных изменить рождаемость или смертность приходится на наиболее уязвимую стадию, то их влияние на последующее развитие популяции будет наибольшим. Эту закономерность необходимо учитывать при организации охоты или в борьбе с вредителями.

Следует подчеркнуть, что реально встречающиеся кривые выживания нередко представляют собой некоторую комбинацию указанных выше типов.

Известно, что в природе редкий вид доживает до максимального возраста, поэтому величина максимальной продолжительности жизни не представляет большого интереса для эколога. Ее учитывают только как точку отсчета при популяционных исследованиях.

Максимальная продолжительность жизни у разных организмов различна (табл. 4.1). 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 опустыненном 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 секвойядендрон гигантский (веллентония), или мамонтово дерево. 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.

Среди животных наибольшее варьирование продолжительности жизни как отдельных особей, так и клонов, в зависимости от экологических условий, характерно для эволюционно менее продвинутых форм, в особенности одноклеточных. Например, сосущие инфузории рода *Tokophrya* при обильном питании живут несколько дней, при скудном – несколько месяцев; в роде *Paramaecium* (инфузория-туфелька) одни клоны живут не более 2 месяцев, другие – до 10 лет. Максимальная продолжительность жизни одноклеточного – порядка 1 года.

**Таблица 4.1. Продолжительность жизни некоторых видов растений
и животных**

Вид	Срок жизни, лет	Вид	Срок жизни, лет
РАСТЕНИЯ		ПТИЦЫ	
Пшеница	1	Ласточка	9
Виноград	80–100	Скворец	19
Яблоня	200	Полярная крачка	27
Дуб	1200	Домашний голубь	35
Кипарис	3000	Африканский страус	40
БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ		Беркут	80
Обыкновенная		Гриф	117
чешуйница	7	МЛЕКОПИТАЮЩИЕ	
Муравей	7	Землеройка	2
Земляной червь	10	Мышь	3
Омар	50	Белая крыса	> 4
Пресноводная		Морская свинка	> 7
жемчужница	> 100	Кролик	12
РЫБЫ		Овца	15
Гуппи	5	Собака	> 24
Карп	> 50	Корова	> 30
Белокорый палтус	70	Лев	35
Осетр	> 100	Зебра	> 38
ЗЕМНОВОДНЫЕ		Гиппопотам	49
И ПРЕСМЫКАЮЩИЕСЯ		Индийский слон	> 77
Малая лягушка	20	Человек	70–80
Жаба	36		
Гигантская саламандра	>50		
Аллигатор	60		
Слоновая черепаха	> 150		

Из многоклеточных животных губки живут до 10–15 лет, кишечнополостные в ряде случаев до 70–80 (актинии), представители различных групп червей от 1–3 до нескольких десятков лет, пауки 4–5, иногда до 20 лет (самки тарантулов), ракообразные – от нескольких недель (дафнии) до 50 лет (омары). Продолжительность жизни пластинчатожаберных моллюсков достигает 100 лет, однако многие виды моллюсков живут по несколько месяцев или даже недель. Из позвоночных максимальная продолжительность жизни ряда рыб

(осетр, щука, белуга) составляет 80–100 лет; мелкие рыбы – анчоусы, бычки и т.п. живут обычно не более 1,5–2, земноводные до 60–70 (гигантская саламандра), черепахи свыше 150 лет.

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). Из крупных хищников дольше всех живут слоны: 60–80 (в неволе) лет, медведи – 50, львы – 30, 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. Человек и человекообразные обезьяны, например, в среднем живут 60–70 лет, гиббоны и капуцины 20–25, шимпанзе до 39, мартышки и макаки – 10–12 лет.

4.6. Взаимодействия популяций

Организмы, 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.

1. Нейтрализм (от лат. «нейтралис» – не принадлежащий ни тому, ни другому) – ассоциация двух популяций не сказывается ни на одной из них. Такого рода взаимоотношения в природе встречаются часто. Примеров можно привести много. Это отношения между дождевым червем и комаром, зайцем, обитающим под пологом леса, и дятлом, живущим в дупле дерева, белкой и лосем, клестами и дроздами в лесу.

2. Взаимное конкурентное подавление – обе популяции подавляют друг друга. В качестве примера можно рассмотреть взаимодействие двух видов клевера – ползучего (*Trifolium repens*) и земляничного (*Trifolium fragiferum*) в смешанных посевах. На начальных стадиях развития клевер ползучий раньше образует полог листьев и хорошо разрастается, но затем его затеняет клевер земляничный и препятствует росту первого. Таким образом, в смешанных травостоях каждый вид задерживает развитие другого, но оба они оказываются в состоянии завершить жизненный цикл и дать семена, хотя плотность каждого вида понижена. Примером взаимного конкурентного подавления могут служить также отношения между сорняками и культурными растениями, угнетающие обоих партнеров.

3. Конкуренция за общий ресурс – каждая популяция косвенно отрицательно воздействует на другую в борьбе за дефицитный ресурс. Это могут быть опосредованные отношения между видами в борьбе за добывание пищи (соперничество между волками, рысями и лисами в северных лесах, между гиенами и львами в саваннах) и т.п. В данном случае разные виды непосредственно не нападают друг на друга. На их состояние влияет фактор присутствия или отсутствия пищи.

4. Аменсализм (от греч. «а» – отрицание и лат. «менса» – стол, трапеза) – одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния. Ель в процессе роста сильно затеняет почву и тем самым вытесняет светолюбивые виды, попавшие под ее полог. Изменяя среду, ель подавляет популяции светолюбивых травянистых растений. На рост же самой ели обратное воздействие не влияет.

5. Хищничество – одна популяция неблагоприятно воздействует на другую, непосредственно нападая на нее, но тем не менее сама зависит от объекта нападения. Хищниками могут быть различные организмы – от простейших до сложноорганизованных. Это львы и волки, пожирающие свою жертву, кровососущие мошки и насекомоядные птицы, различные виды рыб, поедающие планктонных рачков дафний, и сами дафнии, питающиеся одноклеточными водорослями. Если хищник поедает растения, он называется *растительноядным*. При этом хищник не умерщвляет жертву, а довольствуется лишь поеданием какой-либо ее части. Примером может служить колорадский жук, питающийся культурным картофелем. Всеядные хищники питаются как животной, так и растительной пищей.

6. Протокооперация (буквально «первичное сотрудничество» – от греч. «протос» – первый и лат. «кооперацию» – сотрудничество) – обе популяции получают от ассоциации выгоду, но эти отношения необязательны. В качестве примера протокооперации можно привести описание взаимоотношений между двумя видами, которые наблюдал римский натуралист Плиний Старший. «Наевшись рыбки, с пастью, наполненной остатками пищи, он предается сну на самом берегу реки; тут небольшая птичка, называемая в Египте трохилусом, чтобы поживиться пищей, предлагает ему раскрыть пасть и очищает ее сперва снаружи, а затем зубы и ее глотку, которую крокодил растягивает не без удовольствия, насколько только возможно». Вот только иной раз бывает, что встреча крокодила со своей подругой не осуществляется.

Птица-носорог во влажном тропическом лесу Малайзии и фиговое дерево (инжир, смоковница) также связаны взаимоотношениями, относящимися к протокооперации. Питаясь плодами инжира, носорог способствует его расселению. Мелкие семена фигового дерева проходят неперевавленными через пищевой тракт птицы. Семена вместе с поместом попадают в места со скоплением органики в развилках стеблей древесных пород и дают начало новым растениям. Длинные корни по мере роста инжира спускаются по стволу дерева, дотягиваются до земли, закрепляются там и питают смоковницу.

Еще один распространенный в природе случай протокооперации относится к совместному существованию буйволо-вых скворцов (волоклюи) и крупных животных (буйволы, носороги, жирафы, антилопы, зебры, крупный рогатый скот). Волоклюи приспособлены к питанию клещами и насекомыми-кровососами, от которых страдают животные. Острые когти и жесткий хвост, служащие опорой, позволяют волоклюям ловко лазать по телу животного в поисках добычи. Присосавшихся клещей птицы, склонив голову набок, срезают как ножницами сжатым с боков клювом. Таким образом, налицо взаимное выгодное сотрудничество организмов (рис. 4.4).

Интересные случаи коллективной охоты коралловых лососей (груперов) и яванской, или бурой, мурены, когда два вида хорошо дополняют друг друга, происходили на Красном море. После неудачной охоты, если жертве удавалось спрятаться в щели между кораллами, групер отправлялся на поиски мурены. Повстречав ее, он останавливался и подавал ей своеобразный сигнал: несколько раз очень быстро потряхивал головой,

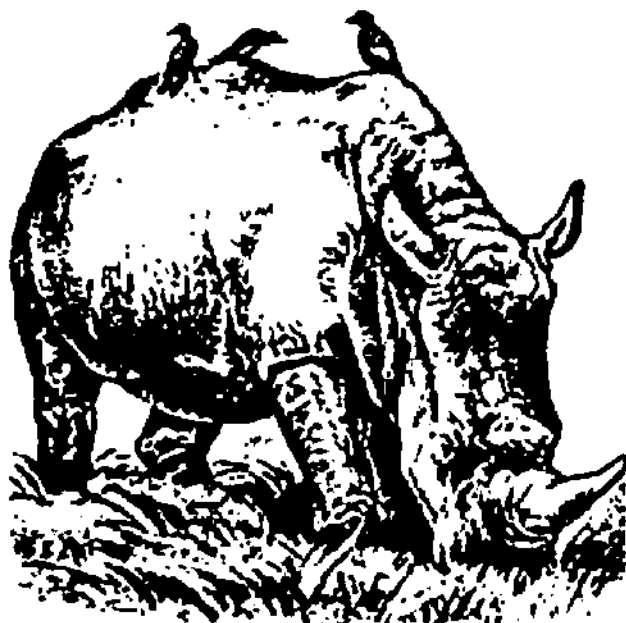


Рис. 4.4. Птицы волоклион кормятся паразитами на коже носорога

приподнимая при этом мягкую оторочку спинного плавника. Мурена могла проигнорировать призыв, но все же обычно она вылезала из укрытия и отправлялась с групером на охоту. Это тем более удивительно, что днем мурены на редкость флегматичны. Если по дороге мурена снова находила подходящую щель и пряталась там, групер снова звал ее потряхиванием головы. Они доплывали до укрытия, где спряталась рыба. Групер останавливался и махал головой и плавниками, показывая компаньону заветное место. А затем в одних случаях мурена ловила рыбу в укрытии и проглатывала ее. В других случаях, действия мурены приводили к тому, что рыба пыталась выплыть из укрытия и попадала в пасть к груперу. И он тоже проглатывал добычу целиком. При этом не было зарегистрировано агрессии или драки двух охотников: кто поймал рыбу, тот ее и съел.

7. Симбиоз (от греч. «симбиозис» – сожительство) – это тесная взаимосвязь между представителями разных видов, из которых по крайней мере один обойтись без другого не может.

Этот термин впервые предложил немецкий ботаник Генрих де Бари в 1873 г. Существует такой червячок – конволюта. В его теле живут фотосинтезирующие бактерии. Зачем червячку зеленые сожители? Оказывается, без них личинки конволюты погибают. Самостоятельно питаться червячок не может. Бактерии выделяют ему часть своей первичной продукции фотосинтеза, и сами пользуются продуктами его обмена веществ. Это сожительство представляет собой великолепную систему взаимной пользы.

Классическим примером симбиоза являются лишайники. Они состоят из двух компонентов – гетеротрофного гриба (микобионта) и автотрофного организма (фикобионта) – цианобактерии, водоросли. Гриб доставляет фикобионту воду и неорганические вещества и защищает от высыхания, а также обеспечивает прикрепление к почве. От автотрофного компонента он, в свою очередь, получает углеводы, которые образуются в ходе фотосинтеза.

Яркий пример симбиоза среди растений представляет микориза – сожительство мицелия гриба с корнями высшего растения (гифы оплетают корни и способствуют поступлению в них воды и минеральных веществ из почвы); некоторые орхидеи не могут расти без микоризы.

Интересный пример симбиоза – взаимосвязь муравьев-листорезов из рода *Atta* и определенного вида гриба в тропическом лесу. Грибы служат для муравьев пищей. Самих же муравьев можно считать одними из зачинателей земледелия. Взираясь на деревья, они вырезают острыми челюстями кусочки лепестков и листьев. Такой груз превышает массу тела муравья в 50 раз! Груз перетаскивается в подземные жилища на глубину 4,5–6 м.

Самое интересное, что муравьи не едят собранные листья, а, утащив их под землю, тщательно крошат, смешав со слюной и экскрементами. Полученная масса служит субстратом для особого гриба, конидиями (споры бесполого размножения некоторых групп грибов) которых они питаются и вскармливают свои личинки. Кроме всего прочего, эти рачительные хозяева пропалывают свой «огород» и выделяют вещества, подавляющие рост бактерий. Таким образом, муравьи-листорезы развели настоящее земледельческое хозяйство. Они вносят удобрения, пропалывают огород и собирают урожай. Главное состоит в том, что ни гриб, ни муравей самостоятельно друг без друга попросту бы не выжили. Интересно, что когда молодая самка покидает гнездо, чтобы образовать новую колонию, она обязательно прихватывает с собой кусочек грибницы и сразу же начинает обживание нового места с закладки грибного огорода.

Кстати, у рабочих особей листорезов есть свои телохранители. Маленькие рабочие муравьи забираются на кусочки листьев, которые тянут на себе более крупные собратья, и не слезают оттуда на всем протяжении маршрута.

Природные популяции, как правило, приспособляются к совместной жизни друг с другом, образуя более или менее взаимовыгодные формы совместного существования. 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.

По степени соединения партнеров и по их типовой зависимости друг от друга различают несколько типов симбиоза: паразитизм, комменсализм, мутуализм.

Паразитизм выгоден одному из партнеров (паразиту) и вреден другому (хозяину). Комменсализм полезен одному симбионту, но не отражается на другом. Мутуализм – это взаимовыгодное сосуществование.

Паразитизм (от греч. «пара» – возле и «ситос» – пища) – одна популяция использует другую в качестве среды обитания и источника пищи. Большое количество паразитов имеется среди животных (блохи, вши, клещи, различные виды тлей, бактерии, гельминты и др.), растений (петров крест, подбельник обыкновенный, гнездовка настоящая и др.), грибов (различные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных).

Комменсализм (от лат. «ком» – с, вместе и «менса» – стол, трапеза) – одна популяция извлекает пользу от объединения, а для другой это объединение безразлично. Таким образом, один вид (или популяция) извлекает пользу от сожительства, а другой вид (или популяция) ничего не выигрывает от этого, но и не страдает.

Часто под комменсализмом понимают такое сожительство, при котором один из партнеров питается остатками пищи или продуктами выделения другого, не причиняя ему вреда. Такую разновидность комменсализма, основанную на потреблении остатков пищи хозяев, называют *нахлебничеством*.

Таковы взаимодействия между различными видами почвенных бактерий-сапрофитов, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков, и высшими растениями, которые потребляют образовавшиеся при этом минеральные соли.

Для крупных организмов можно привести пример сожительства рыб-лоцманов и крупных хищных акул. С одной стороны, рыбы-лоцманы находятся в относительной безопасности, а с другой – им перепадает остатки несъеденной акулами пищи. На акул присутствие этих рыб не оказывает никакого влияния.

Известный путешественник Тур Хейердал так описывает в своей книге «Путешествие на “Кон-Тики”» акулю 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».

Нередко можно встретить такую форму взаимоотношений между видами, как *квартирантство*. Под последним понимается сожитительство организмов; когда один из видов поселяется в жилище другого или близ него. Такой тип взаимоотношений широко распространен у растений – примером могут служить лианы и эпифиты (орхидеи, лишайники, мхи), поселяющиеся непосредственно на стволах и ветвях деревьев. В гнездах и норах грызунов обитает множество видов членистоногих, некоторые рыбы прячутся под зонтиками медуз со стрекательными нитями. Рыба горчак откладывает икру в убежище – мантию двустворчатого моллюска, не принося ему вреда.

Иллюстрацией взаимоотношений видов-комменсалов может также служить поведение средиземноморского вида рыбы карапуса (*Campius acus*) в полости тела некоторых видов голотурий (морские беспозвоночные, относящиеся к типу иглокожих – *Echinodermata*). Для карапуса полость голотурии – своего рода убежище, для голотурии же присутствие карапуса безразлично. Никакой выгоды она от такого сожитительства не имеет.

Еще один пример. Сапсан – вид сокола, обитающий в Сибири и Казахстане. Он имеет огромное значение для выживания представителей нескольких вымирающих видов – гуся, например, и краснозобой казарки, поскольку защищает их от прожорливых песцов. Слабые гуси не в состоянии самостоятельно отогнать этих хищников от своих гнезд, а посему и предпочитают гнездиться поближе к сапсанам. Соколам такое соседство безразлично. Гуси же от такого объединения получают явную выгоду.

Особенно часто комменсализм можно наблюдать в морской или океанической среде. Практически в каждой норке червя, в каждой раковине двустворчатого моллюска обитают «незванные гости», которые получают здесь укрытие, но не приносят хозяину ни пользы, ни вреда.

Мутуализм (от лат. «мутуус» – взаимный) – связь популяций, благоприятная для роста и выживания обеих, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой.

Этим словом обозначают любые взаимоотношения между парами видов, приносящие обоюдную пользу. Распространен мутуализм очень широко: корни растений тесно связаны с грибами-микоризообразователями, полипы кораллов – с одноклеточными водорослями, цветковые растения – с опыляющими их насекомыми, кишечник большинства животных населен полезными микроорганизмами и т.д. Между партнерами-мутуалистами складываются сложные поведенческие связи. Например, африканская птица-медоуказчик приводит медоеда к источнику меда. Он вскрывает гнездо, питается остатками (сам медоед при этом с трудом находит гнездо). В Центральной Америке один из видов муравьев живет в шипах акаций, питаясь сахаром из нектарников на листьях и защищая дерево от фитофагов. Если с растения удалить всех муравьев, то до 85 % семян повреждаются личинками мух. Гидра на свету получает 50–100 % необходимого ей кислорода от водорослей-симбионтов. До 25 % известных видов грибов существуют в симбиозе с водорослями как лишайники, что позволяет им заселять поверхности камней и стволы деревьев, в том числе в зонах, практически непригодных для других форм жизни.

Классический пример мутуализма – 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.

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 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 щупальцами отпугива-

ют от крабов хищников, взамен получают возможность мигрировать на новые пищевые поля вместе с раковиной защищаемого ими краба.

Мутуалистическими отношениями является взаимосвязь между жвачными животными (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).

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

4.7. Конкуренция, хищничество, паразитизм. Отношения хищник – жертва, паразит – хозяин

... И даже улыбающейся флоры
Златая колесница – и она
Свой светлый путь свершает чрез раздоры:
И меж растений царствует война.
Деревья, травы вверх растут задорно,
За свет и воздух борются упорно,
А корни их, в земле неся свой труд,
За почву и за влажность спор ведут.

Эразм Дарвин

Конкуренция (от позднелат. *concurrentia*, *concurrere* – сталкиваться) – такое взаимодействие, когда две популяции (или две особи) в борьбе за необходимые для жизни условия воздействуют друг на друга отрицательно, т.е. взаимно угнетают друг друга.

Конкуренция является главным механизмом возникновения биологического разнообразия. 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**. Растения и животные конкурируют друг с другом не только за корм, но и за влагу, жизненное пространство, убежища, гнездовья – за все, от чего может зависеть благополучие вида.

Если конкуренты принадлежат к одному виду, то взаимоотношения между ними называют **внутривидовой конкуренцией**. Особи одного вида в природе конкурируют наиболее остро и жестко, поскольку имеют одинаковые потребности в экологических факторах.

Следует отметить, что внутривидовая конкуренция на том или ином этапе существования вида встречается почти всегда. Поэтому в процессе эволюции у организмов выработались приспособления, снижающие ее интенсивность. Наиболее важные из них – способность к расселению потомков и охрана границ индивидуального участка (территориальность), когда животное защищает место своего гнездовья или известную площадь в его округе. Так, в период размножения птиц самец охраняет определенную территорию, на которую, кроме своей самки, не допускает ни одной особи своего вида. Такую же картину можно наблюдать и у некоторых рыб.

Если конкурирующие особи относятся к разным видам, то это **межвидовая конкуренция**. Объектом конкуренции может служить любой ресурс, запасы которого в данной среде недостаточны: ограниченная территория распространения, пища, участок для гнезда, элементы питания для растений.

Результатом конкуренции может быть расширение области распространения одного вида за счет сокращения численности или исчезновения другого. Примером служит активное расширение с конца XIX в. своего ареала длиннопалым раком, который постепенно захватил весь Волжский бассейн и добрался до Беларуси и Прибалтики. Здесь он начал вытеснять родственный вид – рака широкопалого.

Конкуренция может быть достаточно острой, например борьба за гнездовую территорию. Такой тип конкуренции носит название **прямой конкуренции**. В большинстве случаев по-

добные конфликты происходят между особями одного вида. Однако часто 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. Такой тип конкуренции носит название *косвенной конкуренции*.

Конкуренция является одной из причин того, что два вида, слабо различающиеся спецификой питания, поведения, образа жизни и т.д., редко сожительствуют в одном сообществе. 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 существовали в монокультуре. Пищей им служили бактериальные или дрожжевые клетки, растущие на регулярно добавляемой овсяной муке. Когда Гаузе помещал оба вида в один сосуд, каждый 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. 4.5). Этот период исчезновения одного из видов инфузорий длился около 20 дней.

Таким образом, Гаузе сформулировал **закон конкурентного исключения** (принцип конкурентного исключения), который гласит: «**Два вида не могут существовать в одном местобитании (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.

В качестве примера конкурентного исключения можно привести изменение численности плотвы, красноперки и окуня при их совместном проживании в озерах. Плотва с течением времени вытесняет красноперку и окуня. Исследования показали, что конкуренция сказывается на стадии мальков,

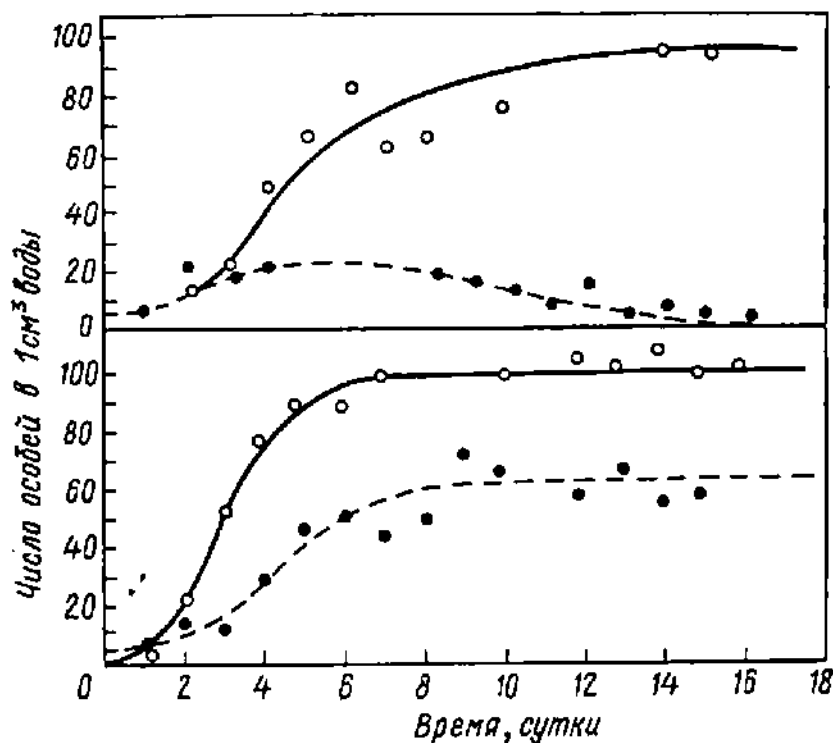


Рис. 4.5. Рост популяций *Paramecium caudatum* (•) и *Paramecium aurella* (○) в раздельных культурах (внизу) и в смешанной (вверху). *P. aurella* вытесняет *P. caudatum*

когда кормовые спектры молоди перекрываются. В это время мальки плотвы оказываются более конкурентоспособными.

В природе конкурирующие за пищу или пространство виды часто избегают или снижают конкуренцию переселением в другое местообитание с приемлемыми для себя условиями либо переходом на более труднодоступную или трудноусваиваемую пищу, либо сменой времени или места добычи корма. 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); львы охотятся на более крупных животных, а леопарды — на более мелких; для тропических лесов характерно сложившееся распределение животных и птиц по ярусам.

Примером деления жизненного пространства может служить раздел сфер питания между двумя видами бакланов — большого и длинноносого (рис. 4.6). Они обитают в одних и тех же водах и гнездятся на одних и тех же обрывах.

Наблюдения показали, что длинноносый баклан ловит рыбу, плавающую в верхних слоях воды, тогда как большой баклан добывает пищу в основном у дна, где ловит камбал и донных беспозвоночных.

Пространственное деление можно наблюдать и среди растений. Произрастая совместно в одном местообитании,

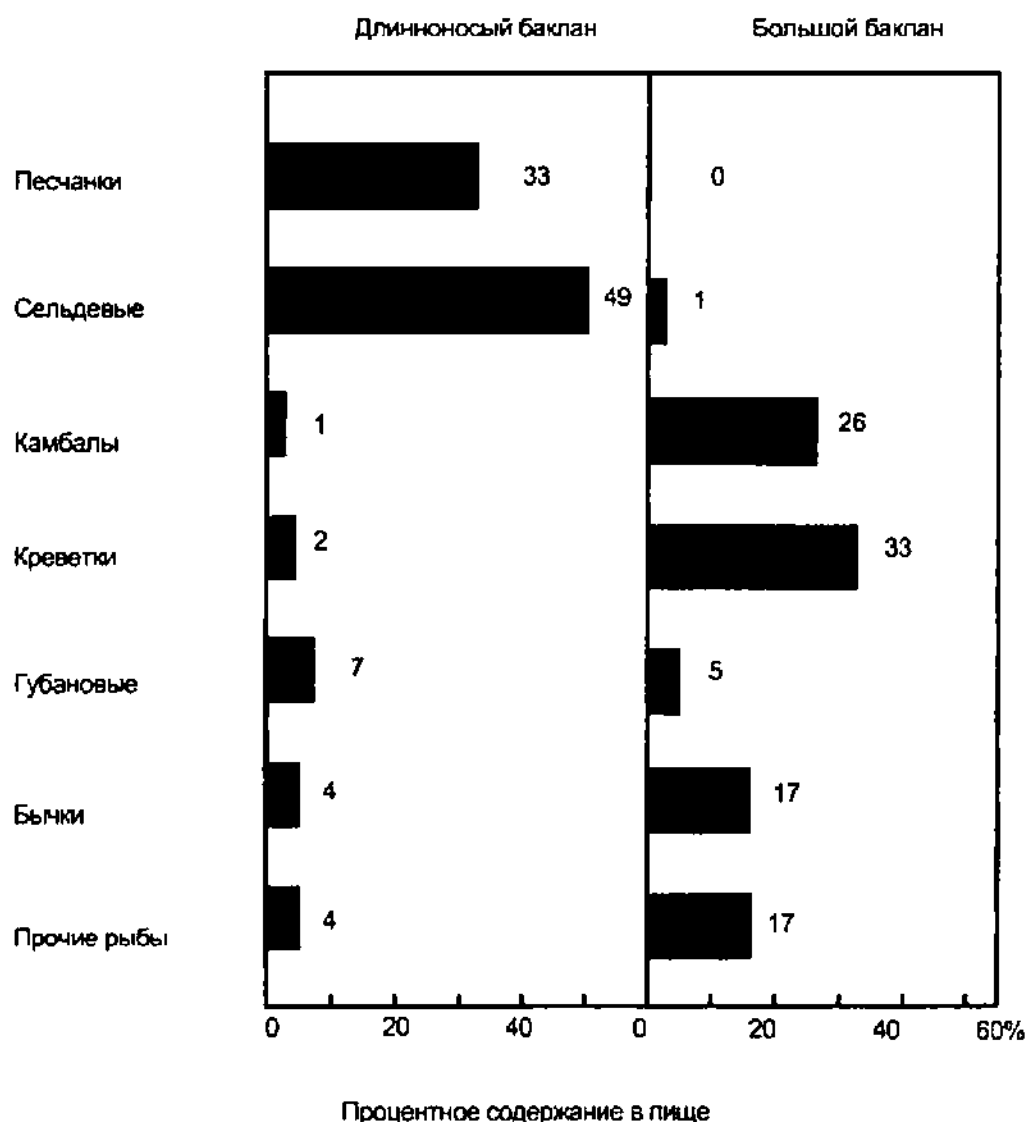


Рис. 4.6. Разделение жизненного пространства между двумя близкородственными видами морских птиц по способу питания

они простирают свои корневые системы на разную глубину, тем самым разделяя области поглощения питательных элементов и воды. Глубина проникновения может быть от нескольких миллиметров (у корнеподстилочных растений, таких, как кислица) до десятков метров (у крупных деревьев).

Важным видом взаимоотношений между организмами в природе являются отношения типа хищник – жертва – это взаимосвязь между хищником и жертвой, в результате которой эволюционно выигрывают оба: популяция хищника обеспечивается пищей, популяция жертвы оздоравливается хищником.

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 установления факта хищничества необходимо наличие умерщвления одним организмом другого с целью использования его в виде пищи.

Диапазон отношений типа хищник – жертва довольно широк. Видимо, подобные отношения существуют в природе столько, сколько существует сама жизнь. Эволюцию хищника нельзя оторвать от эволюции жертвы и наоборот. Соучастники данных 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 – острые зубы и клыки, быстрые ноги, маскирующую окраску, острые втягивающиеся когти, стрекательные клетки, ядовитые железы. Одни хищники вынуждены быстро бегать, другие достигают своей цели, охотясь стаями, третьи отлавливают преимущественно больных, раненых и неполноценных особей. Жертва, в свою очередь, не оставалась в долгу и развивала специфические средства защиты – выросты тела, шипы, колючки, панцири, защитную окраску, способность быстро прятаться, зарываться в грунт, строить убежища.

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 прямое воздействие

на хищников путем отстрела и опосредованное, например путем выжигания саванн уменьшается численность антилоп, что, в свою очередь, вызывает уменьшение числа хищников.

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 вредит ей.

Приведем следующую функциональную классификацию хищников:

- истинные хищники, убивающие свою жертву сразу после нападения на нее и в большинстве случаев поедающие жертву целиком (львы, орлы, божьи коровки, киты и многие другие);

- хищники с пастбищным типом питания (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 (различные ленточные черви, вирусы, ржавчинные грибы, тли);

- паразитоиды – организмы, которые ведут паразитический образ жизни в личиночном состоянии, например некоторые насекомые, откладывающие яйца либо в тело других насекомых (на ранних стадиях развития последних), либо на его поверхность.

Таким образом, паразитоиды паразитируют только в неполовозрелом состоянии, причем пораженный ими организм продолжает жить, пока не закончится развитие их личинок. 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 съедает его целиком. 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». Бигон, Харпер и Таунсенд (1989) отмечают, что к паразитоидам относятся около 25 % всех обитающих на земле видов.

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 в бореальных лесах Канады, которое соответствует колебанию численности ряда хищников, таких, как рысь. 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 (рис. 4.7).

Одним из важных типов взаимоотношений между популяциями в природе являются **отношения типа паразит – хозяин – форма взаимоотношений между видами, которые носят антагонистический характер**. Вид-паразит обычно ис-

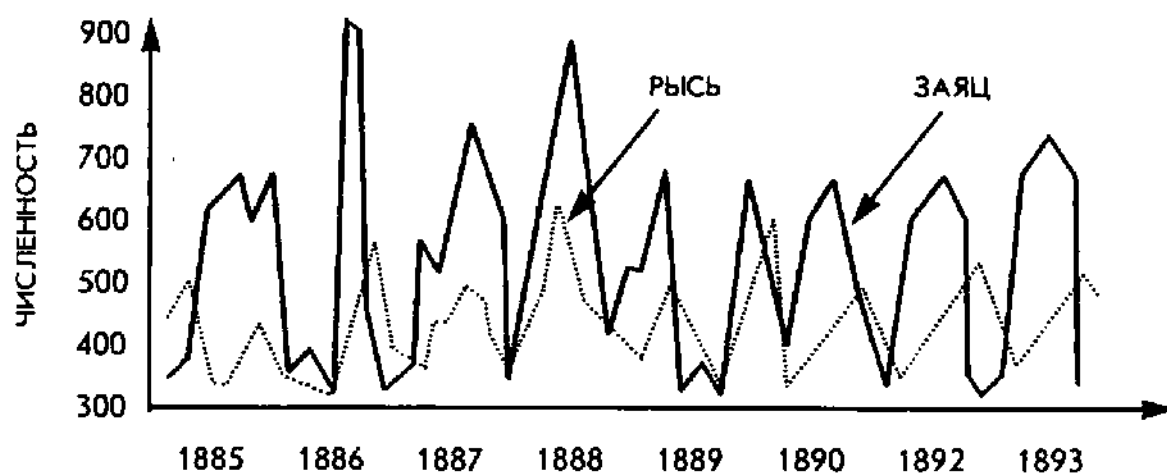


Рис. 4.7. График колебания численности канадских популяций рыси и зайца в природе

пользует другой вид (хозяин) в качестве среды обитания и 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. Паразитофауна обыкновенного крота, например, очень богата. Она насчитывает 8 видов сосальщиков, 2 вида ленточных червей, 18 видов нематод, более 20 видов блох и более 30 видов клещей. Обыкновенная белка является хозяином 50 видов эндопаразитов, из которых 4 вида кокцидий, 2 вида сосальщиков, 15 видов ленточных червей, 26 видов нематод и 3 вида скребней.

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. Например, 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 °С, 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. Некоторые из них выработали довольно простой цикл воспроизведения. Например, 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. Например, 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, на помощь паразиту приходят промежуточные хозяева. Зайцы, поедая траву, захватывают яйца червя. В их организмах 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 наконец-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, принесенных на их острова белыми. То же касается и различных групп туземцев, обитающих в тропических лесах Африки и Южной Америки. Полукочевые племена охотников и собира-

телей 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 погребок (*Rhinanthus alectrolophus*). Под землей его корни паразитируют на корнях других растений. Иногда он настолько спешит, что присасывается к корням своих собратьев – таких же погребков. Обычно же погребок паразитирует на корнях других растений. Чаще всего это злаки.

Из типичных растительных паразитов можно указать растения, обитающие в наших лесах: петров крест, подбельник обыкновенный, гнездовка настоящая, различные виды повилы и т.д.

Много внутриклеточных паразитов среди низших грибов – многочисленные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных грибов.

4.8. Гомеостаз популяций. Регуляция численности популяций

Способность популяции поддерживать динамическое равновесие со средой, в частности определенную численность особей, называется **гомеостазом популяции** (от греч. «гомеас» – подобный, одинаковый, «остас» – состояние). Понятие гомеостаза является одним из важнейших в экологии. По отношению к любой природной системе (популяция, биоценоз, экосистема) гомеостаз определяется как состояние ее внутреннего функционального равновесия, поддерживаемое постоянным саморегулированием компонентов. Гомеостаз является характерным и необходимым для всех природных систем – от атома и организма до космических образований.

Функции гомеостаза свойственны популяциям всех групп живых организмов, однако наиболее полно они изучены у животных. При всем многообразии механизмов популяционного гомеостаза их можно сгруппировать в три функциональные категории (Шилов, 1997):

- поддержание пространственной структуры;
- поддержание генетической структуры;
- регуляция численности и плотности населения.

Механизмы поддержания пространственной структуры разнообразны. Наиболее важные из них следующие.

Территориальная агрессия – наиболее прямая форма территориальных взаимоотношений. Она в той или иной форме свойственна всем видам. Животные, кормящиеся на своем участке, проявляют агрессию при защите его от соседей (даже визуально знакомых). Птицы активно защищают территорию своего гнездования, грызуны охраняют друг от друга места своего пропитания, хищники заботятся об охране своих охотничьих участков и т.п.

Маркирование территории – относительно «мягкий» механизм гомеостаза, не связанный с агрессией. У птиц это выражается в акустической маркировке участков. Некоторые обитатели водной среды также прибегают к звуковым сигналам. Так, голубые киты при общении друг с другом издают низкочастотные импульсы порядка 188 дБ, что позволяет считать подобные звуки самыми громкими звуками, которые способны издавать животные. Их можно услышать на расстоянии 860 км.

У рыб нередко окраска тела говорит чужаку о занятости территории. Разнообразны механизмы маркировки территории у млекопитающих. Многие животные для мечения участков используют запах мочи и экскрементов. Но наибольшее значение имеют выделения особых желез. Например, анальные железы африканской гориллы, считающейся самым вонючим животным, могут выделять отвратительно пахнущую жидкость, запах которой можно почувствовать на территории радиусом более полутора километров. Похожие железы имеют полевки, песчанки и другие виды мышевидных грызунов.

Нередко в качестве меток используются визуально различимые знаки. Например, следы когтей бурого медведя на стволах деревьев, либо остатки шерсти, которыми многие представители семейства волчьих метят свою территорию.

Генетическая структура популяции поддерживается степенью индивидуальной изменчивости особей. Чем генетически более разнородна популяция, тем выше ее экологическая пластичность. Считается, что поддержание стабильной генетической структуры обеспечивается случайным характером скрещивания, хотя во многих группах высших животных доминирующие (преобладающие) особи имеют преимущества в спаривании. Например, на лежбищах морских слонов (как и у многих других ластоногих) секачи-доминанты составляют всего 4 % от всех самцов, но принимают участие в 85 % спариваний и оплодотворяют до 85 % самок.

Численность любой популяции определяется ее способностью к размножению. Потенциально многие виды могут очень сильно увеличивать свою численность. Самки некоторых рыб мечут тысячи или даже миллионы икринок каждый год. Крысы и мыши 4 раза в год приносят приплод примерно с 5 детенышами в одном помете.

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*.

Рождаемость живых организмов определяется несколькими основными характеристиками. Одна из них – соотношение выжившего потомства, вылупившегося или родившегося, к числу самок в конце периода размножения. Например, самки калифорнийских кондоров откладывают только 1 или 2 яйца. Это делает данный вид более уязвимым к вымиранию, по сравнению с такими видами, как утки и куропатки, которые откладывают и высиживают от 8 до 15 яиц одновременно.

Рождаемость видов также зависит от того, сколько раз в году самки проходят через полный цикл размножения и от продолжительности беременности. Луговая полевка с периодом беременности всего лишь 21 день может производить большое количество детенышей за короткий период. У африканской слониhi период беременности длится почти 2 года. Она не рождает более до тех пор, пока ее детеныш не станет достаточно взрослым. Таким образом, у слонов рождается всего один детеныш как минимум каждые 2,5 года.

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 в теплых и богатых кормом долинах обычно откладывают меньше яиц.

При высокой скученности особей в популяциях регулирующим механизмом численности могут являться стрессовые явления. Явление стресса было впервые описано для человека в 1936 г. Гансом Селье – канадским биологом и физиологом. Согласно Селье стресс – это совокупность физиологических реакций организма в ответ на воздействие различных неблагоприятных (реже благоприятных, например радость, половое возбуждение) факторов. Стресс может быть вызван как серьезной опасностью, так и творческой удачей. Общеизвестны стрессовые явления при потере члена семьи, разводе, неудачи на профессиональном поприще и т.д. О стрессовых реакциях говорят как в случае поведения высших животных, так и низших (реакция на загрязнение среды у амебы), а также растений (стрессовая реакция на засуху).

Стрессовые явления наиболее характерны для млекопитающих. Стресс-реакция является механизмом, регулирующим рождаемость. При стрессах обычно у части особей снижается рождаемость и увеличивается смертность. Более сильные (доминантные) особи в меньшей степени подвержены стрессу и его последствиям. При ослаблении или прекращении стрессовых явлений организмы обычно восстанавливают функции жизнедеятельности и репродукционного процесса.

Численность особей в популяции чаще всего 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 птенчиков непогода может обернуться гибелью. Поэтому старший совенок, чтобы выжить, вынужден съесть своего младшего ослабевшего собрата. Законы выживания суровы.

В начале 60-х гг. XX в. экологами была выдвинута концепция **саморегуляции популяций**. Согласно этой концепции, в процессе роста плотности популяции изменяется не только и не столько качество среды, в которой существует данная популяция, сколько качество самих составляющих ее особей. Это выражается в снижении плодовитости, удлинении сроков полового созревания, возрастании смертности и миграционной активности (перемещение организмов за участок своего индивидуального обитания). Одним из авторов данной концепции был английский эколог Д. Читти (1960). Он подчеркивал, что в принципе каждая популяция способна регулировать свою численность так, чтобы не подрывались жизненные ресурсы местообитания и не требовалось вмешательства каких-либо внешних факторов.

Существуют две теории, объясняющие регуляцию численности.

1. Смертность в популяции обусловлена только воздействием физических (погода, пожар, загрязнение) или биологических факторов (хищники) 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*. В данном случае график роста популяции описывается отмеченной выше экспоненциальной кривой.

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. График роста популяции описывается логистической кривой.

При независимом от плотности типе изменения численности обуславливаются в основном абиотическими факторами (погодные явления, наличие пищи, различного рода катастрофы и т.п.). Эти факторы могут обеспечивать условия как для неограниченного, хотя и кратковременного, роста популяций, так и для снижения их численности до нулевой. Группы этих факторов обычно называют *модифицирующими* (от лат. «модификацио» – изменение).

Зависимая от плотности динамика популяций обеспечивается биотическими факторами. Их называют *регулирующими*.

ми. Они «работают» по принципу обратной отрицательной связи: чем значительнее численность, тем сильнее срабатывают механизмы, обуславливающие ее снижение, и наоборот – при низкой численности сила этих механизмов ослабевает и создаются условия для более полной реализации биотического потенциала. Факторы такого типа обеспечивают поддержание численности в определенных границах значений.

К числу регулирующих факторов относится, в частности, взаимоотношение организмов типа хищник – жертва. Высокая численность жертвы создает условия (пищевые) для размножения хищника. Последний, в свою очередь, увеличив численность, снижает количество жертвы. Численность обоих видов в результате этого носит синхронно-колебательный характер. Регулирующие факторы, в отличие от модифицирующих, никогда не доводят численность популяций до нулевых значений вследствие того, что сила их действия уменьшается по мере уменьшения численности популяций.

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 способны, 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.

4.9. Цели и задачи популяционной экологии

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, экологу 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.

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.

Существует достаточно много 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».

Классическим примером тому является интродукция кроликов в Австралию. В 1859 г. в Австралию из Англии для спортивной охоты завезли кроликов. Природные условия оказались для них благоприятными, а местные хищники – динго – не опасными, так как бегали недостаточно быстро. В результате кролики расплодились настолько, что на обширных территориях уничтожили растительность пастбищ. Фермеры, разводившие австралийских овец, забили тревогу. Выражение «кролики съели Австралию» оказалось не таким уж и лишённым смысла. В некоторых случаях введение в природное сообщество естественного врага заносного вредителя приносило успех в борьбе с последним, но здесь не все так просто, как кажется на первый взгляд. Завезенный враг совершенно необязательно сосредоточится на истреблении своей привычной добычи. Например, лисы, интродуцированные в Австралию для уничтожения кроликов, нашли в изобилии более легкую добычу – местных сумчатых, не доставляя запланированной жертве особых хлопот.

Для истребления непрошенных гостей в Австралии предложили заразить их возбудителем инфекционного вирусного заболевания, поражающего только кроликов и очень опасного для них – миксоматоза. В 1950 г. несколько групп кроликов были заражены этой болезнью и выпущены в различных областях Австралии. К июню 1951 г. площадь очага эпизоотии (распространение заболевания среди большого числа животных) составила 2,5 млн км². Кролики погибали в огромных количествах. И хотя истребить до конца их не

удалось, их численность резко упала и никогда уже не достигала прежнего, угрожающе высокого уровня. Дающие прекрасную шерсть австралийские овцы снова получили возможность наслаждаться сочной зеленой травой.

Сопутствующая история 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 XX в. для использования в качестве живых изгородей (в том числе и для защиты от надоевших кроликов). 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, вспышка чужестранца была подавлена. Однако опасность таких катастроф в современном мире реально существует.

А вот и совсем свежий пример. Мы уже упоминали печальные последствия для природы Австралии после 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 утверждали, 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 водный 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 в отсутствие серьезных врагов за 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. Папоротничек обладает способностью размножаться с сумасшедшей скоростью, лишая флору и фауну кислорода. Мало того, в нем 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. Предстоят серьезные исследования, чтобы решить разгадку 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 этим направлением. Популяционная экология призвана разрабатывать научные 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 5

БИОЦЕНОЗЫ

Дерево – это целый мир! В стволе его дырки, продолбленные дятлами, и в каждой дырке кто-нибудь живет и трюкает: то жук какой, то птичка, то ящерка. В травке и сплетении корней позапрятаны гнезда. Мышиные и сусликовые норки уходят под дерево. Муравейник привален к стволу...

Виктор Астафьев

Экология, еще не имея статуса самостоятельной науки, создавалась и развивалась многими выдающимися натуралистами прошлых столетий. Постепенно биологи, изучавшие от-

дельные объекты живой природы, пришли к выводу, что цельные результаты, адекватно отражающие законы природного окружения, можно получить только лишь при рассмотрении природных явлений и населяющих природную среду организмов 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 биолог Карл Мёбиус. Изучая комплексы сплошных многослойных поселений устриц, которые образуют так называемые *устричные банки*, Мёбиус назвал биоценозами комплекс живых организмов, постоянно встречающихся вместе в различных пунктах одного и того же водного бассейна при наличии одинаковых условий существования. В 1877 г. Мёбиус впервые ввел в научную литературу термин биоценоз (от греч. «биос» – жизнь и «ценозис» – общий).

«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”».

5.1. Понятие и сущность биоценоза

В современной экологической литературе термин *биоценоз* (*biocoenosis*) обычно применяется как синоним термина *сообщество* (*community*). Как и при установлении сущности понятия *популяция*, при определении сообщества существует также определенная путаница. Многие биологи довольно по-разному трактуют суть биоценоза. Одни под этим термином понимают группу встречающихся совместно популяций. Другие под биоценозом понимают пространственно ограниченные со-

вокупности (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 одним из удачных определений биоценоза служит определение американского эколога Роберта Хардинга Уиттекера, которое он привел 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, как и все биологические системы, – системы открытые и в природе переходят одно в другое вдоль тех или иных градиентов среды, а не занимают четко ограниченные зоны. Нередко различные биоценозы настолько сливаются, переходят друг в друга, что при отсутствии четких границ между средами обитания иногда невозможно определить, где кончается один и начинается другой. Иногда экологи ограничиваются при выделении сообщества просто произвольным набором видов.

В состав биоценоза входят совокупность растений на определенной территории – фитоценоз; животные, проживающие в пределах фитоценоза – зооценоз; совокупность микроорганизмов, населяющих почву – микробоценоз.

Каждый биоценоз развивается в пределах определенного однородного пространства, которое характеризуется определенным сочетанием абиотических факторов. К ним могут относиться: количество приходящей солнечной радиации; температура; влажность; химический и механический состав почвы; ее кислотность; рельеф местности и др. Такое однородное пространство, часть абиотической среды, занимаемое биоценозом, называется **биотоп**. Это может быть какой-либо участок суши или водоема, берег моря или склон горы. Биотоп – это неорганическая среда, которая является необходимым условием существования биоценоза. Между биоценозом и биотопом существует тесное взаимодействие.

В приведенном нами выше определении биоценоза акцент делается на приуроченности организмов к определенному местообитанию. К одному биоценозу относятся виды, которые сосуществуют вместе в пределах данной среды.

В связи с этим необходимо привести определение биоценоза, предложенное отечественными экологами: **«Биоценоз – это совокупность всех популяций биологических видов, принимающих существенное (постоянное или периодическое) участие в функционировании данной экосистемы»**. Из данного определения видно, что в биоценоз включаются не только виды растений, животных и микроорганизмов, постоянно обитающие в рассматриваемой экосистеме, но оказывающие существенное воздействие на ее жизнь.

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, особенно это касается относительно 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 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 так далее.

Биоценоз как открытая система получает на ее «входе» солнечную энергию, газы, атмосферу, воду, минеральные элементы почвы. На «выходе» – теплоту, кислород, углерод, биогенные вещества, уносимые водой. Однако главным «продуктом» биоценоза является живая продукция – растительная и животная биомасса, и преобразованное в биотопе неживое и отмершее вещество – источник разнообразных полезных ископаемых.

5.2. Видовая структура биоценоза

Каждый биоценоз можно описать, основываясь на совокупности составляющих его видов. Одни биоценозы состоят преимущественно из животных, как, например биоценоз

кораллового рифа. В других биоценозах – лесных – 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, начиная от двустворчатых моллюсков, муравьев и летающих насекомых до пресмыкающихся, птиц, деревьев.

Например, во влажных тропических лесах, в 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 по набору видов являются альпийские и арктические пустыни, самыми богатыми – тропические леса. Но 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**.

Доминантные виды есть в любом биоценозе. В дубраве могучие дубы, используя основную долю солнечной энергии, наращивают наибольшую биомассу, затеняют почву, ослабляют движение воздуха и создают массу удобств для жизни других обитателей леса.

Однако, кроме дубов, в дубраве проживает большое количество других организмов. Например, дождевой червь, живущий здесь, постоянно улучшает физические и химические условия почвы, пропуская через свою пищеварительную систему частицы отмерших растений и опавших листьев. Дуб и червь вносят свой особый вклад в жизнедеятельность биоценоза, однако, несмотря на то, что роль червя и важна, роль дуба – определяющая, поскольку вся жизнь дубового леса обусловливается этой древесной породой и связанными с ним растениями. Таким образом, именно дуб является доминирующим видом в дубраве.

На 0,1 га луга с доминированием овсяницы луговой можно насчитать до 50–60 видов высших растений; на 0,1 га широко-травной дубравы из дуба черешчатого можно насчитать 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.

Видовое разнообразие сообщества (число видов, встреченное в определенном местообитании) носит название **альфа-разнообразие**. Для измерения альфа-разнообразия предложено множество показателей, среди которых обычно используют *степень количественной представленности вида*. Однако самым простым и надежным показателем является подсчет числа видов на единицу площади.

Уиттекер (1980) приводит пример увеличения разнообразия видов птиц в сообществах со сходной структурой от умеренного климата к климату тропических низменностей. Такое увеличение числа видов птиц стало возможно благодаря большему разнообразию местообитаний, т.е. разнообразию сообществ. Разнообразие сообществ носит название **бета-разнообразие**. **Бета-разнообразие** – это степень изменяемости флористического состава сообществ вдоль градиентов ведущего фактора (изменение климата, увлажнения, высоты над уровнем моря и т.п.). Для его оценки можно использовать результаты классификации данного региона и оценить бета-разнообразие числом установленных типов сообществ.

И, наконец, существует еще один способ оценки разнообразия сообществ. Все видовое богатство региона, слагающееся из альфа и бета-разнообразия называется **гамма-разнообразие**. **Гамма-разнообразие** – это видовое разнообразие ландшафтов, которые слагаются из разнообразных сообществ.

5.3. Пространственная структура биоценоза. Ярусность и мозаичность

Биоценозы обладают рядом признаков и свойств, которые дают представление о характере их структуры. Любой биоценоз складывается из многих видов животных, растений и микроорганизмов, находящихся между собой в сложных взаимосвязях. Последние характеризуют структуру биоценоза. Понятие структуры биоценоза целесообразно рассматривать как общее понятие, включающее состав подчиненных элементов, их взаимное расположение (пространственная или морфологическая структура), различные взаимоотношения между ними

(функциональная структура) – и все это в динамике, в изменении как в пространстве, так и во времени. Проблема определения пространственной структуры биоценоза сводится в общих чертах к расчленению его на различающиеся между собой внутриценозные части и выяснению их характера, их связей и меры зависимости их друг от друга и от условий среды.

Пространственная структура биоценоза включает его вертикальную и горизонтальную структуры.

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. 5.1).

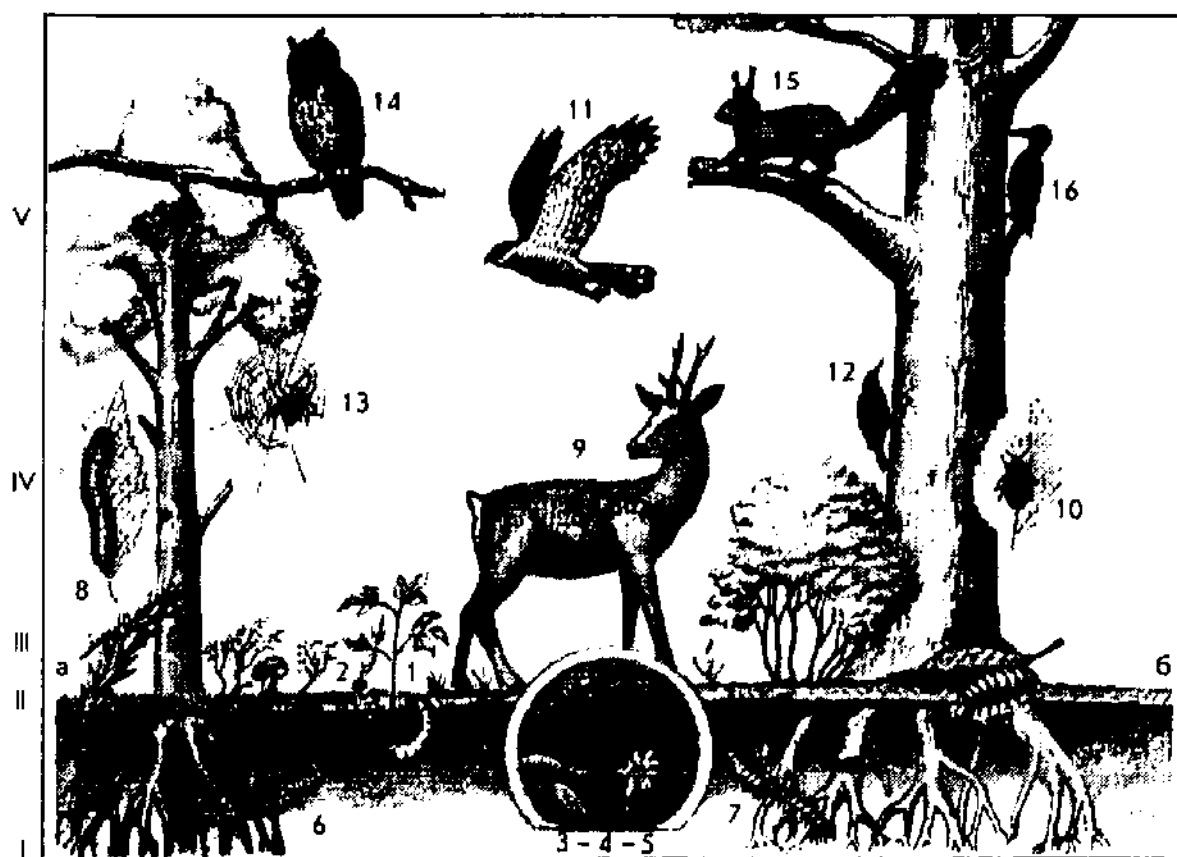


Рис. 5.1. Распределение организмов по ярусам в лиственном лесу:
 I – верхние слои почвы; II – поверхность почвы (а – моховой покров с мелкими членистоногими; б – слой опавшей листвы с мокрицами); III – ярус трав; IV – ярус кустарников (подлесок); V – ярус древостоя. 1 – личинки насекомых; 2 – грибы; 3 – бактерии; 4 – круглые черви; 5 – протисты; 6 – дождевой червь; 7 – многоножки; 8 – гусеница чешуекрылая; 9 – косуля; 10 – насекомое; 11 – ястреб; 12 – пищуха; 13 – паук; 14 – сова; 15 – белка; 16 – дятел

Первый **древесный ярус** здесь обычно формируют высокие деревья с высоко расположенной листвой, которая хорошо освещается солнцем. Неиспользованный свет может поглощаться деревьями поменьше, образующими второй подпологовый ярус.

Оставшиеся около 10 % солнечной радиации перехватываются **ярусом подлеска**. Его составляют кустарники и кустарниковые формы древесных пород, например орешник, рябина, крушина, ива, яблоня лесная и т.п. На открытых местах, в нормальных экологических условиях многие кустарниковые формы таких пород, как рябина, яблоня, груша имели бы вид деревьев первой величины. Однако под пологом леса, в условиях затенения и нехватки элементов питания, они обречены на существование в виде низкорослых, зачастую не дающих семян деревьев. По мере развития лесного биоценоза, такие породы никогда не выйдут в первый древесный ярус. Этим они отличаются от следующего яруса лесного биоценоза.

Это **ярус подроста**. К нему относятся молодые невысокие (от 1 до 3–5 м) деревца, которые в будущем, в перспективе, смогут выйти в первый ярус. Они относятся к так называемым лесообразующим породам. Это ель, сосна, дуб, граб, береза, осина, ясень, ольха черная и др. Данные породы образуют основные лесные массивы нашей республики. И, хотя условия освещенности, увлажнения, питания для них не совсем благоприятны, они, благодаря своей конкурентноспособности могут в будущем достичь первого яруса и образовать биоценозы со своим господством.

Незначительная часть солнечной радиации – от 1 до 5 % используется растениями травяного покрова, которые образуют **травяно-кустарничковый ярус**. Сюда относятся наши лесные травы и кустарнички: ландыш, кислица, земляника, брусника, черника, папоротники.

Напочвенный слой мхов и лишайников формирует **мохово-лишайниковый ярус**. Итак, схематично в лесном биоценозе выделяются древостой, подлесок, подрост, травяной покров и мохово-лишайниковый ярус. 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, проживающие на других растениях, но не являющиеся паразитами, например мхи и лишайники на стволах деревьев), а также растения-паразиты, которые выделяют-

ся в группу *внеярусной растительности*, поскольку затруднительно отнести их какому-либо конкретному ярусу. В лесах умеренного пояса можно выделить 2–3 (реже больше) ярусов. 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 или чертополох. Затем идет ярус трав средней высоты. Это могут быть мятлик однолетний, клевер луговой, ромашка непахучая и другие виды. К третьему ярусу можно отнести лапчатку гусиную, вербейник монетчатый, подорожник обыкновенный.

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 водных сообществах кроме яруса корней и корневищ различают ярус:

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

Подобно распределению растительности по ярусам, в биоценозах разные виды животных также занимают определенные уровни. В почве живут почвенные черви, микроорганизмы, землеройные животные. В листовом опаде, на поверхности почвы живут различные многоножки, жуки, клещи и другие мелкие животные. В верхнем пологом леса гнездятся птицы, причем, 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 океана и морей. Разные виды планктона держатся различной глубины, в зависимости

от освещения; также разные виды рыб обитают на разной глубине, в зависимости от того, где они находят себе пропитание.

Особи живых организмов распределены в пространстве неравномерно. Обычно они составляют группировки, что является приспособительным фактором в их жизни. Такие группировки определяют горизонтальную структуру биоценоза — это горизонтальное распределение особей видов, образующих различного рода узорчатость, мозаичность, пятнистость каждого вида (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Мозаичное строение липо-елового леса:

Участки: 1 — елово-волосисто-осоковый; 2 — елово-мшистый; 3 — густые группы елового подроста; 4 — елово-липовый; 5 — подрост ели под осинной; 6 — осиново-снытевый; 7 — крупно-папоротниковый в окне; 8 — елово-щитовниковый; 9 — хвощевый в окне

Примеров такого распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с места на место многие рыбы. В большие стаи собираются водоплавающие птицы, готовящиеся к дальним перелетам. Североамериканские северные олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженные могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя всех, кто замешкался и не в силах спастись бегством.

Такие же примеры можно привести и для растений: пятнистое размещение особей 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.

Наличие горизонтальных элементов биоценоза, мозаичности, имеет довольно важное значение для жизни сообщества. Мозаичность позволяет более полно использовать раз-

личные типы микроместообитаний. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость, они наиболее эффективно используют пищевые ресурсы.

Это ведет к увеличению и разнообразию видов в биоценозе, способствует его устойчивости и жизненности.

К элементарным единицам горизонтального строения растительных сообществ относятся такие структурные единицы, как *микроценоз* и *микрогруппировка*.

Микроценоз (от греч. «микрос» – малый и «койнос» – общий) – наименьшая по размерам структурная единица горизонтального расчленения сообщества, которая включает все ярусы, обособленная в вертикальном направлении от других, окружающих ее микроценозов этого же сообщества и характеризующаяся определенным составом, структурой, динамикой и обладающая некоторой целостностью. Почти каждое сообщество включает в себя комплекс микросообществ, или микроценозов.

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 можно выделить микрогруппировки черничные, чернично-кисличные, голубично-сфагновые и т.п. Иногда термины «микроценоз» и «микрогруппировка» употребляются как синонимы.

Особи разных видов существуют в биоценозах не изолированно, обычно вступают между собой в разнообразные взаимоотношения. Такие прямые и косвенные межвидовые отношения (связи) обычно подразделяются на четыре типа: 1) трофические; 2) топические; 3) форические; 4) фабрические.

Трофические отношения возникают тогда, когда один вид в биоценозе питается другим (либо их мертвыми остатками, либо продуктами их жизнедеятельности). Божья коровка, питающаяся тлей, корова на лугу, поедающая сочную траву, волк, охотящийся на зайца – это все примеры прямых трофических связей между видами.

Топические отношения характеризуют изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого. Ель, затеняя почву, вытесняет светолюбивые виды из-под своей кроны, морские желуди поселяются на коже китов, мхи и лишайники, располагаются на коре деревьев. Все эти организмы связаны друг с другом топическими связями.

Форические связи – участие одного вида в распространении другого. В этой роли обычно выступают животные, пере-

носящие семена, споры, пыльцу растений. Так, обладающие цепляющимися шипами семена лопуха или череды могут захватываться шерстью крупных млекопитающих и переноситься на большие расстояния.

Фабрические связи – тип отношений, при которых особи одного вида используют для своих сооружений продукты выделения, мертвые остатки, либо даже живых особей другого вида. Например, птицы строят гнезда из сухих веточек, шерсти млекопитающих, травы и т.п. Личинки ручейников для строительства своих домиков используют кусочки коры, песчинки, обломки раковин или же сами раковины с живыми моллюсками мелких видов.

Австралийский атласный шалашник строит свой шалашик из веточек, принося туда различные перья, ягоды, яркие кусочки пластмассы. Все предметы в коллекции только зелено-вато-синего цвета, который напоминает окраску собственного оперения шалашника.

5.4. Континуум, экотоны, краевой эффект

Растительный покров одевает поверхность земного шара сплошным зеленым ковром (за исключением пустынных и ледниковых зон). Если бы не деятельность человека, то зеленый покров планеты так и оставался бы сплошным и ненарушенным. Человек же своей деятельностью в одних местах полностью уничтожил «зеленое покрывало», в других – оставил после своей деятельности пустые 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 снять влияние человека (антропогенный пресс) на живую природу, то по прошествии определенного периода времени языки растительного покрова, сомкнувшись, снова покроют безжизненную землю. Такое явление 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 на вопрос, почему в природе существует та-

кое разнообразие видов животных, отвечал, что это из-за наличия 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**.

Взгляд на растительность как систему дискретных единиц сложился в начале XX в. Однако тогда же, в 1910 г., молодой 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. Общее определение континуума выглядит следующим образом: континуум – это свойство растительного покрова, выражающееся в том, что любых два произвольно выбранных примыкающих 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.

В связи с тем, что выделение разнокачественных растительных сообществ в пределах непрерывного их ряда невозможно, 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 совсем влажным 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 экотон.**

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 количество их в каждом из гранича-

щих биоценозов. Такое явление – тенденция к увеличению разнообразия и плотности организмов на границах биоценозов носит название **краевой эффект**. Наиболее отчетливо краевой эффект проявляется в зонах, отделяющих лес от луга (зона кустарников), лес от болота и т.д.

5.5. Экологическая ниша

*Вальдшнепы любят тихий лес,
Вьюрки – кустарник горный,
А цапли с вышины небес
Стремятся в край озерный.
Дрозды в орешнике живут,
В тиши лесной полянки,
Густой боярышник – приют
Веселой коноплянки.
У каждого обычай свой,
Свой путь, свои стремленья...*

Роберт Бернс

Понятие экологической ниши было введено американским зоологом-натуралистом Дж. Гриннеллом (1914) и английским экологом Ч. Элтоном (1927). Гриннелл предложил термин «ниша» при описании птиц-пересмешников Калифорнии. Он отмечал, что особенности их питания, гнездования и другие адаптации определяют место этой популяции в сообществе, т.е. экологическую нишу. Под термином «ниша» Гриннелл определял самую мелкую единицу распространения вида. При определении ниши он уделял большое внимание чисто пространственному распределению видов относительно друг друга.

Элтон описывал нишу как место данного организма в биотической среде, как позицию вида в зависимости от других видов в сообществе, его положение в цепях питания. При определении ниши он подчеркивал особую важность трофических связей.

Экологическая ниша – это совокупность факторов среды, в которых обитает тот или иной вид организмов, его место в природе, в пределах которого данный вид может существовать неограниченно долго.

Классическое определение экологической ниши дал американский эколог Дж. Хатчинсон. Согласно сформулированной им концепции, экологическая ниша представляет собой часть воображаемого многомерного пространства (гиперобъема), отдельные измерения которого соответствуют факторам,

необходимым для нормального существования вида. Экологическую нишу, определяемую только физиологическими особенностями организмов, Хатчинсон назвал **фундаментальной**, а ту, в пределах которой вид реально встречается в природе – **реализованной**. Фундаментальной считается ниша, которую вид может занять в биоценозе при отсутствии конкуренции. Фундаментальная ниша в указанном выше смысле определяется физиологическими потенциями вида, наследственно закрепленными его генотипом. Реализация этих потенций зависит от степени соответствия существующих условий конкретного биотопа потребностям вида и поэтому характеризует фенотип вида. Реализованная ниша – та часть фундаментальной ниши, которую данный вид (популяция) в состоянии «отвоевать» в конкурентной борьбе. Таким образом, реализованная экологическая ниша как бы вложена в фундаментальную и почти всегда меньше последней.

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.) (рис. 5.3).

Отметим, что необходимо отличать понятие «экологическая ниша» от понятия «местообитание» (среда обитания). Оба понятия частично перекрываются, но термин «среда обитания» обозначает лишь пространство, где распространяется и обитает

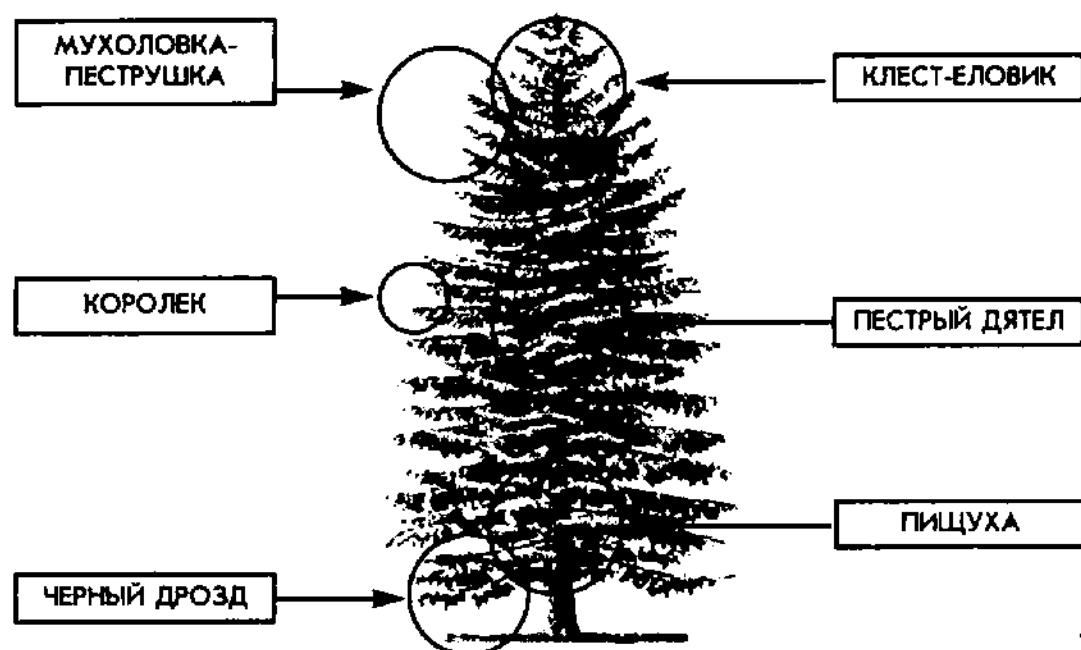


Рис. 5.3. Экологические ниши некоторых птиц, населяющих хвойные леса

определенный вид, тогда как термин «экологическая ниша» включает в себя ту роль, функцию, которую выполняет данный вид в среде обитания. Местообитание вида — это совокупность отвечающих его требованиям участков в пределах видового ареала. Оно является важным компонентом его экологической ниши.

Кролики в Австралии размножились в невероятном количестве только из-за того, что была свободна экологическая ниша, которую они заняли. Иногда такое внедрение инородного вида в экосистему с незанятыми экологическими нишами — бедствие, иногда такое расселение может служить человеку. Возьмем, например, такого зверька, как ондатра. Ее родина — Северная Америка. Ученые сравнили животный мир водно-болотных ландшафтов Северной Америки и Евразии. Нашли очень много сходного. И вот в конце 20-х гг. XX в. этот крупный грызун с довольно ценным мехом был завезен на территорию России и поселен на Соловецких островах в Белом море и у берегов Камчатки. Позже ондатру стали акклиматизировать в пресных водоемах. Сейчас она обычна на территории бывшего Советского Союза. Зверек занял свободную экологическую нишу: берега и мелководья рек, озер и болот. Да и корма в достатке — огромная биомасса водных растений.

Одна из основных проблем, стоящих перед членами сообщества, будь это растения или животные, — распределение жизненного пространства. Организмы приспособились разделять экологические ниши, причем это может быть пространственное или временное разделение. Птицы, обитающие в разных местах крон деревьев, могут никогда не сталкиваться с птицами, обитающими в листве кустарников. Многие млекопитающие, например речные бобры, метят территорию своего проживания пахучими выделениями, другие оповещают соседей предостерегающими криками. Цветковые растения распускают свои цветы в разное время года, приспособляясь к разносезонным насекомым.

Размерность экологической ниши в природе может быть самой различной. Одни организмы могут существовать в широких экологических амплитудах и тем самым расширять свою экологическую нишу. Другие же, наоборот, эволюционно приспособились к довольно узким экологическим нишам. Удивительный пример такого сужения экологической ниши можно наблюдать у одного из азиатских видов комаров. Обитающий в Таиланде *Anopheles dirus* размножается исключительно только в заполненных дождевой водой ямках, образующихся в лесу от следов ног, оставленных слонами.

Несколько лет назад в непроходимом лесу гавайского острова Мауи был обнаружен новый вид птиц *Melamprosops phaeosoma*, относящийся к семейству гавайских цветочниц. Местообитание этих птиц простирается всего лишь на несколько квадратных километров.

Ареал оранжевой жабы (*Bufo periglenes*) охватывает вершину одной-единственной горы в Коста-Рике. Всего за несколько часов весь лес здесь можно вырубить. Тогда золотистой жабе и подобным ей эндемикам (местным видам, обитающим только в данном регионе) придет конец.

5.6. Трофическая структура биоценоза. Пищевые цепи и экологические пирамиды

*Крупная рыба питается средней,
а средняя – мелюзгой.*

Восточная пословица

Движение вещества и энергии – основное условие поддержания жизнедеятельности организмов в биоценозе, его устойчивости. Первоначальная пища создается зелеными растениями. Основным источником энергии для зеленых растений является солнечное излучение. Поглощая энергию Солнца, с использованием углекислого газа, воды и растворенных в ней неорганических соединений, фотосинтезирующие организмы (зеленые растения, некоторые протисты, бактерии и цианобактерии) преобразуют ее в процессе фотосинтеза в химическую энергию органических веществ. Эти вещества служат источником энергии не только для самих зеленых растений, но и для других организмов, составляющих биоценоз.

По участию в биологическом круговороте веществ в биоценозе различают три группы организмов (рис. 5.4).

1. Основу биоценоза составляют **продуценты** (автотрофные организмы). Являясь организмами-продуцентами, автотрофы синтезируют с помощью солнечного света из CO_2 и H_2O , а также неорганических солей почвы органические соединения, преобразуя при этом световую энергию в химическую. Они обеспечивают органическими веществами и энергией все живое население биоценоза. Зеленые растения лежат в основании всех пищевых связей. Они не только кормятся сами, но и кормят все остальные живые организмы.



Рис. 5.4. Категории организмов

Скорость, с которой в ходе фотосинтеза солнечная энергия преобразовывается в органическое вещество в пересчете на единицу площади, носит название **первичной продукции**. Она выражается либо в единицах энергии (джоуль на 1 м^2 за сутки), либо в единицах сухого органического вещества (кг на 1 га за сутки).

2. Кроме продуцентов, в экосистему входят организмы, которые используют для питания органические вещества, произведенные другими видами. Они не способны синтезировать вещества своего тела из неорганических составляющих. Это **консументы (потребители)**. К ним относятся все животные, которые извлекают необходимую энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. **Первичными консументами** являются растительноядные животные (фитофаги), питающиеся травой, семенами, плодами, подземными частями растений – корнями, клубнями, луковицами и даже древесиной (некоторые насекомые). Ко **вторичным консументам** относят плотоядных животных (хищников).

К консументам также можно отнести группу бесхлорофильных растений (растений-паразитов), которые, присасываясь к корням своих собратьев, в буквальном смысле тянут из них соки. В мире растений это лесной петров крест, полевая заразиха.

Многие консументы в свою очередь служат пищей другим животным. Они сами не могут строить органическое вещество из неорганического и получают его в готовых формах, питаясь другими организмами. В своих телах консументы преобразуют органическое вещество в специфические формы белков и других веществ, а в окружающую среду выделяют отходы, ко-

которые образуются в процессе их жизнедеятельности. Скорость образования биомассы консументами носит название **вторичной продукции**.

3. Особую группу консументов составляют **редуценты** (от лат. *reducens, reducentis* – возвращающий, восстанавливающий) – микроорганизмы и грибы, разрушающие мертвое органическое вещество и превращающие его в воду, CO_2 и неорганические вещества, которые в состоянии усваивать другие организмы (продуценты).

Основными редуцентами являются бактерии, грибы, простейшие, т.е. гетеротрофные микроорганизмы. Если снижается их активность (например, при использовании человеком сильно действующих пестицидов), то ухудшаются условия для жизнедеятельности растений и консументов. Мертвые органические остатки (гниющий в лесу пенек, труп животного) не исчезают в никуда, они разлагаются редуцентами до простых неорганических соединений. При этом выделяется большое количество CO_2 . За счет разложения и минерализации мертвых органических остатков высвобождаются химические элементы. Таким образом, редуценты полностью разлагают все растительные и животные остатки до неорганических составляющих, которые снова могут быть вовлечены в круговорот веществ, тем самым замыкая его, улучшая условия питания растений и увеличивая объем создаваемой биологической продукции. Так восстанавливается неорганическая материя.

Таким образом, осуществляя пищевые взаимодействия, организмы биоценоза выполняют три функции:

1) **энергетическую**, которая выражается в запасании энергии в форме химических связей первичного органического вещества; ее выполняют организмы-продуценты;

2) **перераспределения и переноса** энергии пищи; ее выполняют консументы;

3) **разложения** редуцентами органического вещества любого происхождения до простых минеральных соединений, которые снова вовлекаются в биологический круговорот организмами-продуцентами.

Энергия, содержащаяся в одних организмах, потребляется другими. **Перенос веществ и заключенной в них энергии от автотрофов к гетеротрофам, происходящий в результате поедания одними организмами других, называется пищевой цепью** (рис. 5.5). Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5.

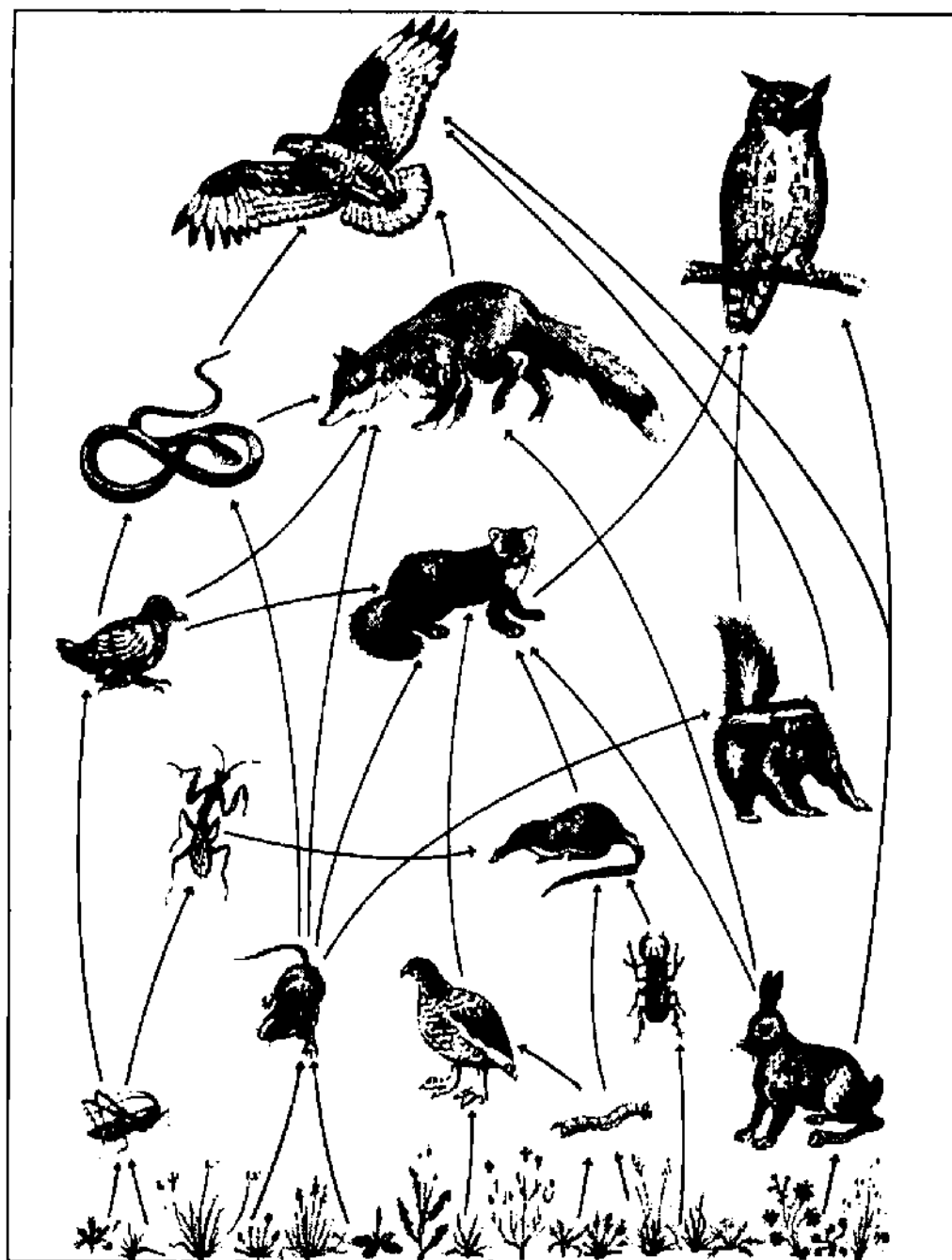


Рис. 5.5. Упрощенная пищевая цепь в наземном биоценозе

Совокупность организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи, носит название **трофический уровень**. К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.

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, 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.

В развитых, сложившихся биоценозах существуют сложные пищевые взаимодействия между автотрофами и гетеротрофами. Поэт Н. Заболоцкий так изобразил 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 из более крупных планктонных ракообразных и завершается китом, который фильтрует этих ракообразных из воды. Всем известная примета погоды, когда ласточки летают низко над землей, тоже повинуются биологическому закону цепей питания. Как известно, при низком полете этих птиц обычно ожидают ухудшения погоды и дождя. Комары – любимое лакомство ласточек – постоянны в своей любви к атмосферному давлению. Если оно понижается, то меняют «воздушный коридор» и комары, а за ними вниз к земле устремляются ласточки. Комары для них – одно из основных звеньев в пищевой цепи.

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. Одно из самых хищных летающих насекомых – стрекоза 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 ястреба, так же, как и у кита, особенных врагов нет. Вот только человека им стоит опасаться. Человек – потенциальное (но не обязательное) заключительное звено пищевой цепи.

Знание пищевых цепей в природе необходимо для прогнозирования последствий любых воздействий на экосистемы. Хорошо известен пример того, к чему привело игнорирование структуры пищевых цепей при попытке уничтожить комаров на озере Клир-Лэйк в США. После использования для этой цели инсектицида ДДТ, его концентрация в воде составила 0,02 части на 10⁶, в планктоне – 10 на 10⁶, в рыбах, питающихся планктоном, – 903 на 10⁶, в хищных рыбах – 2690 на 10⁶, а в рыбоядных птицах – 2134 на 10⁶. Таким образом, концентрация ДДТ увеличилась в 100 тыс. раз по мере продвижения вверх по пищевой цепи, что привело к сокращению численности птиц на озере Клир-Лэйк.

Как-то крестьяне обратились к великому Чарльзу Дарвину, чтобы он подсказал им как увеличить урожай семян клевера, которые стали катастрофически падать. «Заведите кошек», – ответил ученый. Крестьяне подумали, что он шутит. Но Дарвин знал то, чего не знали крестьяне. Клевер опылялся шмелями, гнезда которых стали разорять расплодившиеся мыши. Вот вам и еще один пример пищевой цепи: клевер – шмели – мыши – кошки.

Пищевая цепь в экосистеме начинается с зеленого растения и через ряд промежуточных организмов-консументов за-

канчивается звеном, которое представлено хищными птицами или хищными млекопитающими.

В биоценозах обычно существует ряд параллельных пищевых цепей, например, травянистая растительность – грызуны – мелкие хищники; травянистая растительность – копытные – крупные хищники. Параллельные пищевые цепи нередко объединяют обитателей разных ярусов (почвы, травянистого покрова, древесного яруса), но и между ними могут существовать связи (рис. 5.6). Сокращение численности особей одного вида – звена в пищевой цепи, вызванное деятельностью человека или другими причинами, неизбежно приводит к нарушениям целостности экосистемы.

Пищевые цепи в чистом виде в природе встречаются довольно редко. В большинстве случаев один и тот же организм

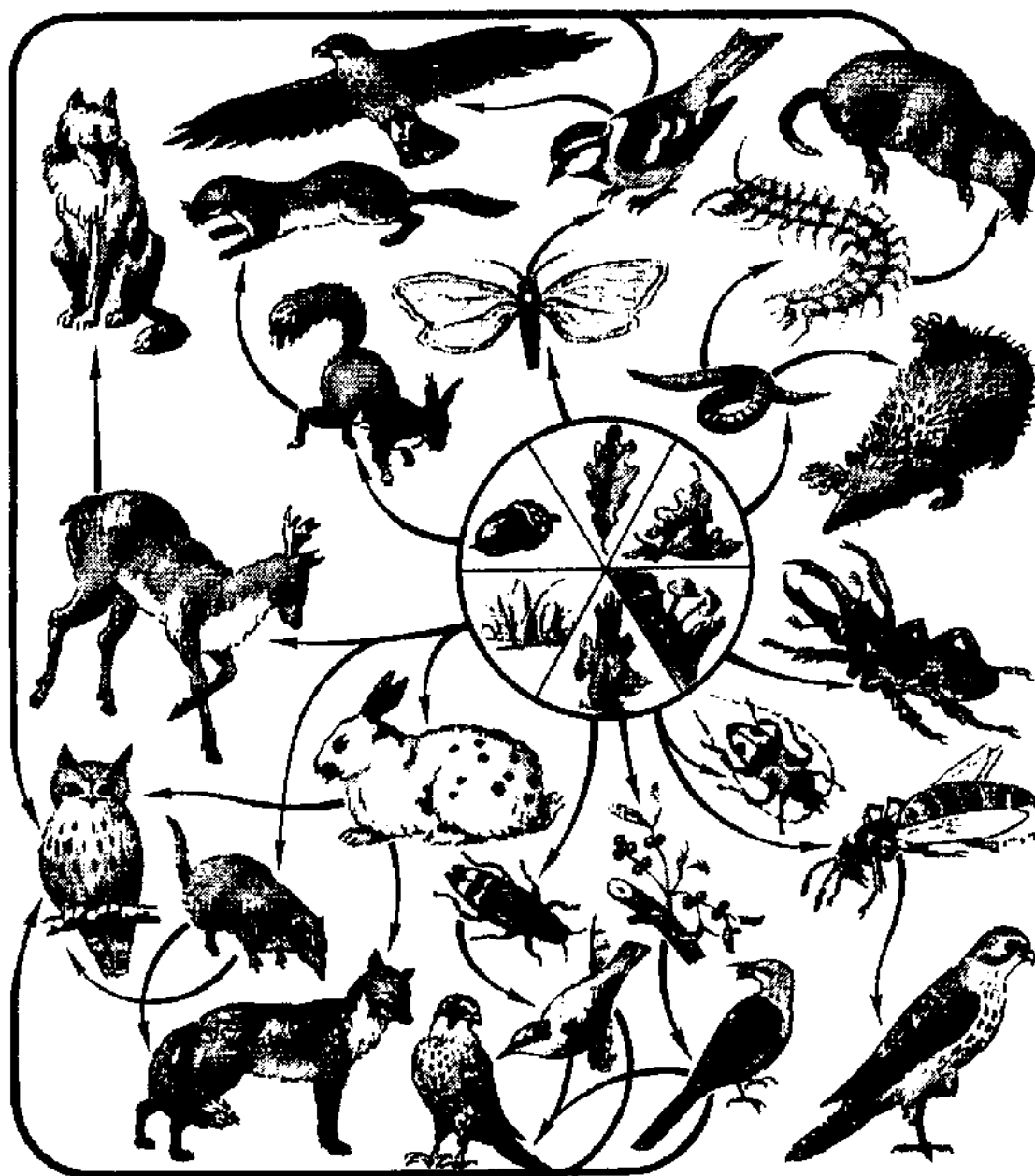


Рис. 5.6. Схема пищевых цепей в дубраве

может быть съеден разными хищниками. Например, дафнию может употребить в пищу не только мелкая рыба, но и хищный рачок циклоп, а плотва может быть съедена не только щукой, но и выдрой. Одни и те же виды могут быть источником пищи для многих организмов, и тем самым являться составной частью различных пищевых цепей. В результате в биогеоценозе формируются **пищевые сети** – сложный тип взаимоотношений, включающий разветвленные цепи питания. Сложность пищевых цепей многократно возрастает, если принять во внимание, что у членов цепей питания – организмов-хозяев – имеются многочисленные специфические паразиты, которые, в свою очередь, являются звеньями других цепей. Например, обыкновенная белка является хозяином 50 видов различных паразитов.

Пищевые цепи, которые начинаются с автотрофных фотосинтезирующих организмов, называются **пастбищными**, или цепями выедания (рис. 5.7).

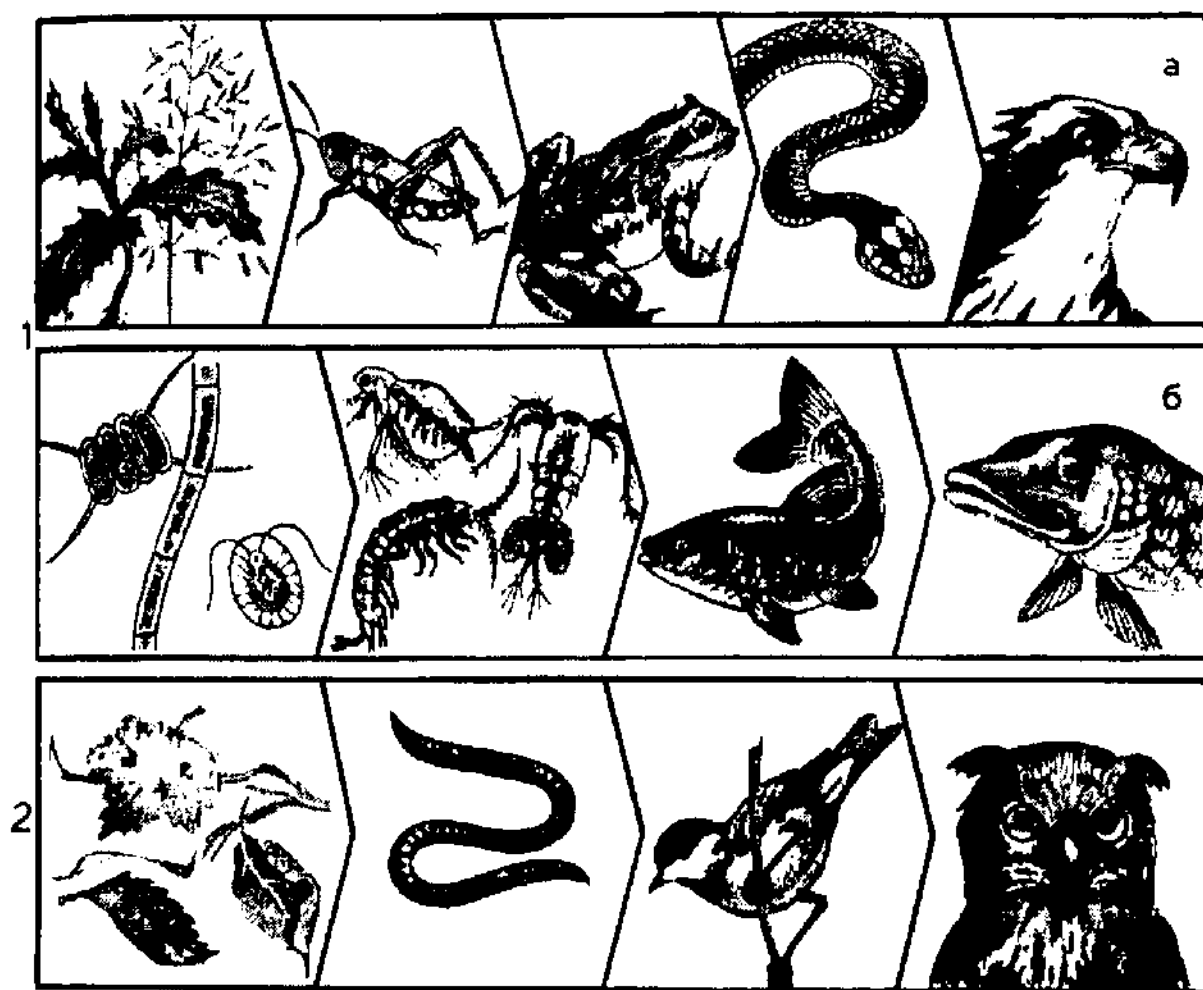


Рис. 5.7. Некоторые пищевые цепи в биоценозах:

1 – пастбищная пищевая цепь в наземном (а) и водном (б) биоценозах; 2 – детритная пищевая цепь в наземном биоценозе

Если пищевая цепь начинается с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных – **детрита** – она называется **детритной**, или цепью разложения. Такие цепи наиболее характерны для сообществ дна глубоких озер, океанов, где многие организмы питаются за счет оседания детрита, образованного отмершими организмами верхних освещенных слоев водоема. Распространены детритные цепи также и в лесах, где большая часть ежегодного прироста живой массы растений не потребляется непосредственно растительноядными животными, а отмирает, образуя опад, и разлагается затем сапротрофными организмами с последующей минерализацией редуцентами. Типичным примером детритной пищевой цепи наших лесов является следующая: листовая подстилка – многоножки – черный дрозд – ястреб-перепелятник.

Таким образом, энергия, входящая в экосистему, разбивается на два основных русла, поступая к консументам через живые ткани растений или запасы мертвого органического вещества.

В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов приобретает определенную **трофическую структуру**. Трофическая структура сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно первого, второго и т.д. порядков) и редуцентами, выраженное или количеством особей живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, рассчитанных на единицу площади в единицу времени.

Трофическую структуру обычно отображают графическими моделями в виде **экологических пирамид**. Эффект пирамиды в виде таких моделей разработал в 1927 г. английский зоолог Чарлз Элтон.

Чарлз Сазерленд Элтон родился 29 марта 1900 г. в Ливерпуле. Учился в местном колледже, а затем в Оксфорде. Лабораторным экспериментам Элтон предпочитал естественные наблюдения в полевых условиях, исследуя взаимоотношения организмов с окружающей средой. Он, по сути, положил начало превращению естественной истории (*natural history*) в науку экологию.

Сильное влияние на взгляды Элтона оказали великие натуралисты не столь далекого прошлого. Об Александре Гумбольдте (1769–1859), крупнейшем немецком ученом-энциклопедисте и путешественнике, он писал как о «...возможно первом экологе», который создал живую картину растительного и животного мира во всем его великолепном окружении и «*комплексе взаимодействующих сил*».

В 1921 г., будучи студентом последнего курса, в Оксфордской экспедиции на Шпицберген Элтон начал экологические исследования животных на при-

мере локальной фауны, которые затем продолжил еще в трех арктических экспедициях в 1923, 1924 и 1930 гг.

После арктических экспедиций Ч.Элтон начал изучение динамики численности разнообразных наземных и водных животных, сделав попытку установить причины неустойчивости популяций.

Началом современной биогеоценологии и отчасти популяционной экологии считается первая книга Элтона, вышедшая в 1927 г., – «Экология животных». Эта книга переключила внимание зоологов с изучения отдельных организмов на анализ популяций в целом. Ставший классическим труд Элтона осветил широкий круг как теоретических, так и методических вопросов син-экологии. Элтон описал структуру и распределение сообществ животных, колебания численности, дисперсию, экологические сукцессии и сформулировал такие важнейшие понятия, как цепи и циклы питания, пирамида чисел и экологическая ниша.

Элтон развил понимание экологической ниши, придав ему смысл функционального статуса организма в сообществе – *«место [животного] в биотической среде, его отношения с пищей и врагами»* и отметил, что *«нишу любого животного можно описать в значительной степени, если знать размеры этого животного и его пищевые запросы»* (1927).

В 1932 г. Элтон основал при Оксфордском университете Бюро по изучению популяций животных. В дальнейшем это бюро стало всемирным центром для сбора данных по изменению численности животных, проведения популяционных и биоценологических исследований, а затем и крупным исследовательским институтом (Институт наземной экологии).

В 1958 г. вышла книга Элтона «Экология нашествий животных и растений», почти сразу же (1960) переведенная на русский язык.

После Второй мировой войны Чарлз Элтон был занят главным образом полевыми исследованиями, на основе которых в 1966 г. был создан фундаментальный труд «Типы сообществ животных».

Основанием экологической пирамиды служит первый трофический уровень – уровень продуцентов, а последующие уровни образуют консументы различных порядков. При этом высота всех блоков – одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

1. Пирамида чисел (численностей) отражает численность отдельных организмов на каждом уровне (рис. 5.8). Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо по крайней мере несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений. Иногда пирамиды чисел могут быть обращенными, или перевернутыми. Это касается пищевых цепей леса, когда продуцентами служат деревья, а первичными консументами – насекомые. В этом случае уровень первичных консументов численно богаче уровня продуцентов (на одном дереве кормится большое количество насекомых).

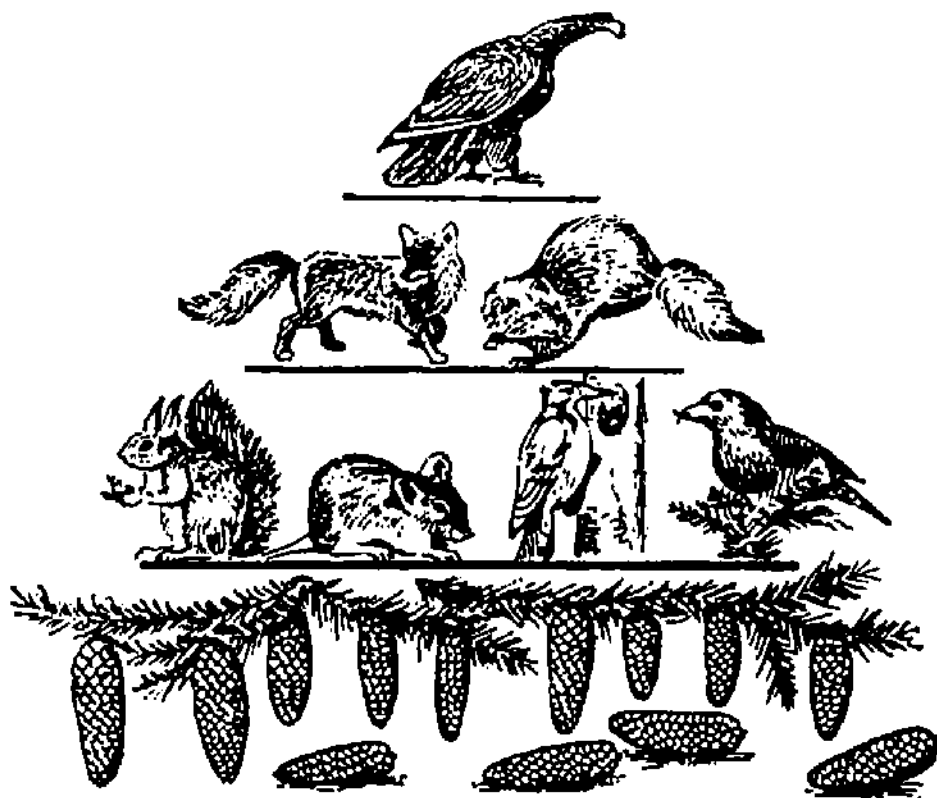


Рис. 5.8. Упрощенная схема пирамиды чисел

2. **Пирамида биомасс** – соотношение между организмами разных трофических уровней (продуцентами, консументами и редуцентами), выраженное в их массе (рис. 5.9). Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов первого порядка больше, нежели общая масса консументов второго порядка и т.д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой. Так, для образования 1 кг говядины необходимо 70–90 кг свежей травы.

В водных экосистемах можно также получить обращенную (или перевернутую) пирамиду биомасс, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели биомасса консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона его общая масса в данный момент может быть меньше, нежели масса потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).

Пирамиды чисел и биомасс отражают *статическую* системы, т.е. характеризуют количество или биомассу организмов в определенный промежуток времени. Они не дают полной информации о трофической структуре экосистемы, хотя также позволяют решать ряд практических задач, особенно связан-

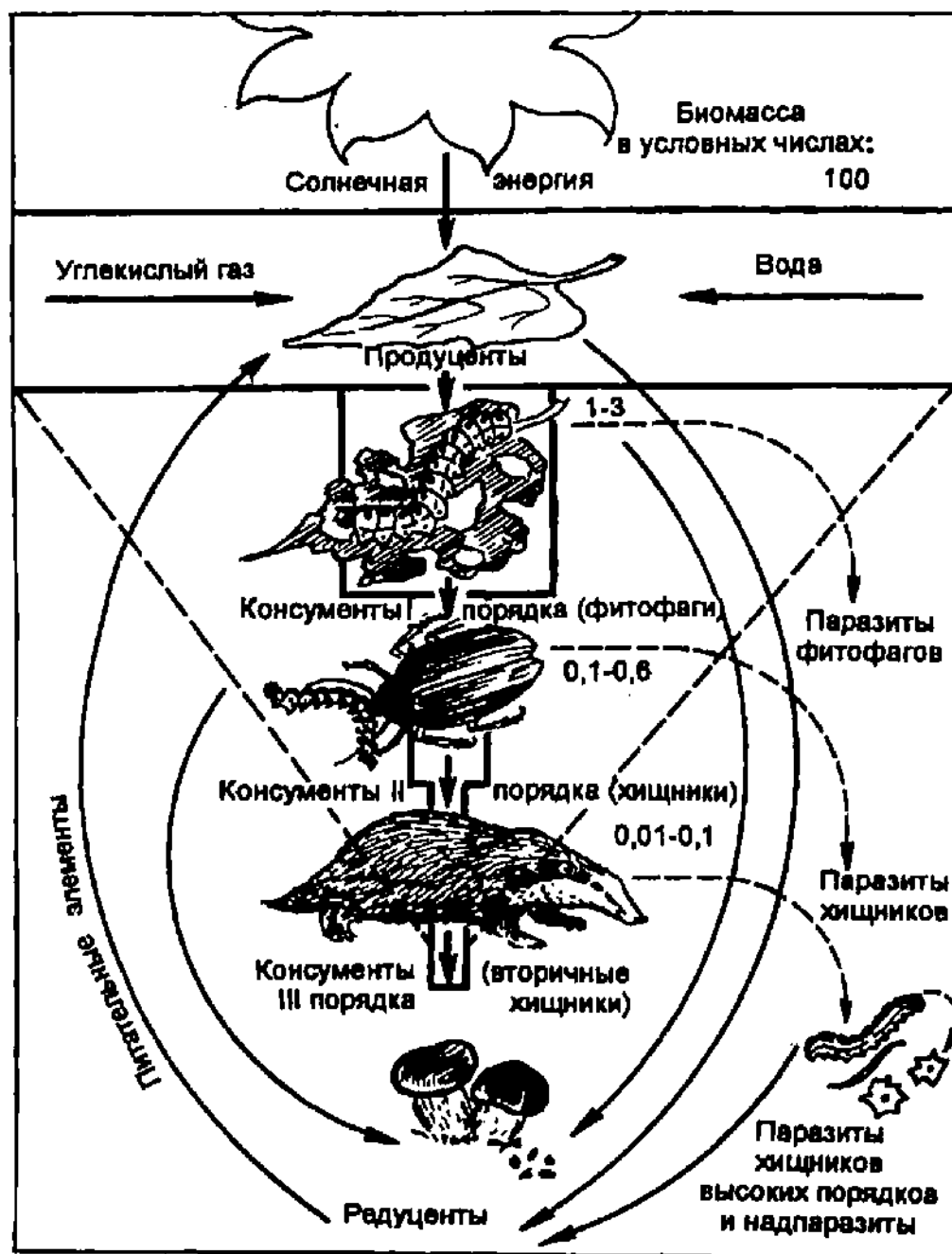


Рис. 5.9. Трофические уровни в экосистеме и пирамида биомасс (пирамида биомасс на рисунке изменена по отношению к классическому ее изображению – повернута к потоку энергии Солнца звеном продуцентов)

ных с сохранением устойчивости экосистем. Пирамида чисел позволяет, например, рассчитывать допустимую численность отстрела животных в охотничий период без последствий для нормального воспроизводства биоценоза.

3. **Пирамида энергии** 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.

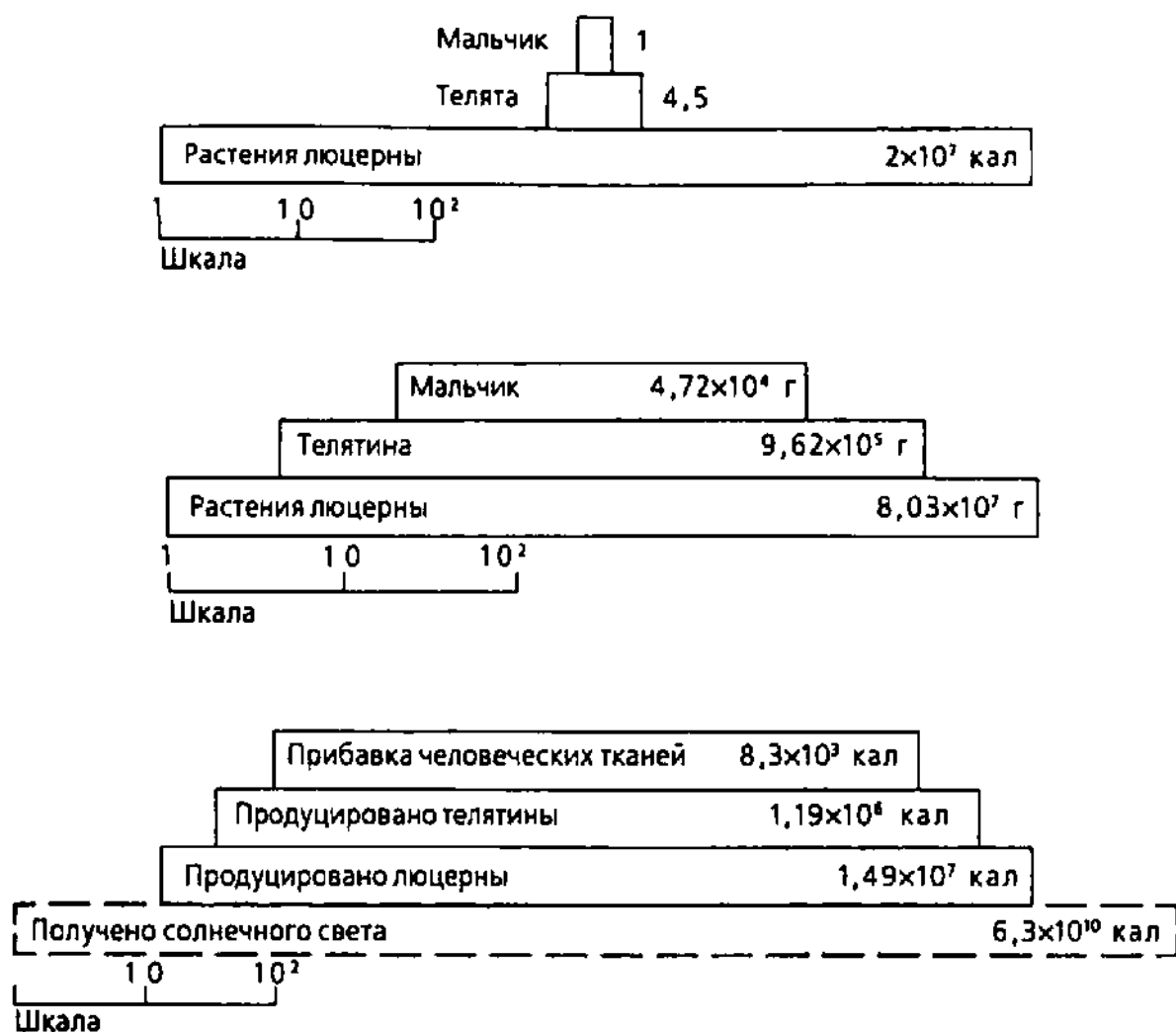


Рис. 5.10. Пример простой экологической пирамиды (вверху – пирамида чисел, в середине – биомассы, внизу – энергии)

Для иллюстрации трофической структуры упрощенной теоретической экосистемы можно привести пример одной ее цепи, которая функционирует в течение года. Пусть имеется посев люцерны на площади в 4 га. Здесь кормятся телята, мясом которых (и только им) в течение года питается 12-летний мальчик. Результаты расчетов представлены в виде трех пирамид: чисел, биомасс и энергии (рис. 5.10).

Люцерна использует всего 0,24 % всей падающей на поле солнечной энергии. Из этого количества 8 % накапливается телятами, 0,7 % расходуется на рост и развитие ребенка. В итоге из всей солнечной энергии, падающей на 4 га люцернового поля, лишь немногим более одной миллионной доли ее идет на пропитание мальчика в течение года. За то же время мальчик съедает 4,5 теленка, которые поедают 20 млн растений люцерны.

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 сообществе 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 не полностью. 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 продукции предыдущего.

Установлено, что максимальная величина энергии, передающаяся на следующий трофический уровень может в некоторых случаях составлять 30 % от предыдущего, и это в лучшем случае. Во многих биоценозах, пищевых цепях такой процент передаваемой энергии может составлять всего лишь 1 %.

В 1942 г. Р. Линдеман сформулировал **закон пирамиды энергии (или закон 10 процентов)**, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10 % поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии. Остальная ее часть 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 (рис. 5.11).

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 0,01 от биомассы растений, съеденных зайцем. В случае древесных растений эта доля намного ниже из-за того, что древесина плохо усваивается организмами. Для трав и морских водорослей данная величина значительно больше, поскольку у них отсутствуют трудноусвояемые ткани. Однако общая закономерность процесса передачи энергии остается: через верхние трофические уровни ее проходит значительно меньше, чем через нижние.

Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 3–5 (редко 6) звеньев, а экологические пирамиды не могут состоять из большого количества этажей. К конечному звену пищевой цепи, так же, как и к верхнему этажу экологической пирамиды, будет поступать так мало энергии, что ее не хватит в случае увеличения числа организмов.

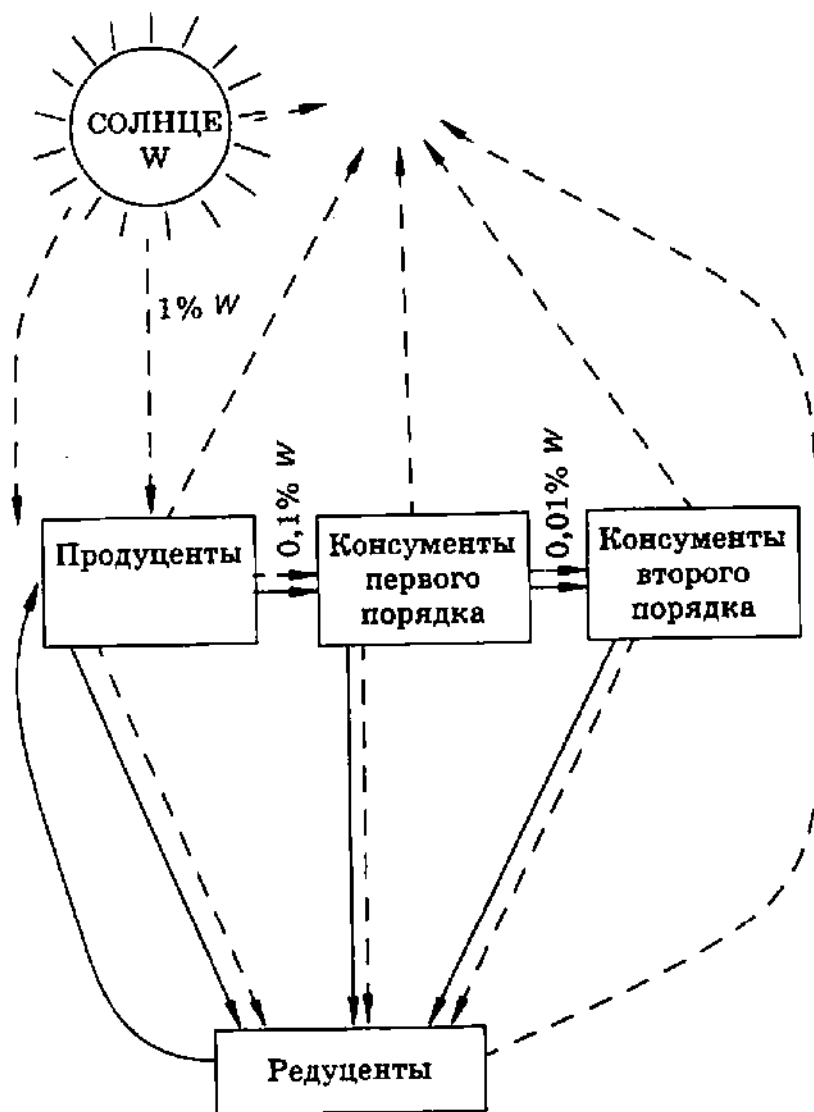


Рис. 5.11. Перенос вещества и энергии в биоценозе:
 —————> перенос вещества; - - - - -> перенос энергии; W — энергия

Этому утверждению можно найти объяснение, проследив, куда тратится энергия потребленной пищи (C). Часть ее идет на построение новых тканей, т.е. на прирост (P). Часть энергии пищи расходуется на обеспечение энергетического обмена, или на дыхание (R). Поскольку усвояемость пищи не может быть полной, т.е. 100 %-ной, то часть неусвоенной пищи в виде экскрементов удаляется из организма (F). Балансовое равенство будет выглядеть следующим образом:

$$C = P + R + F.$$

Учитывая, что энергия, затраченная на дыхание, не передается на следующий трофический уровень и уходит из экосистемы, становится ясным, почему каждый последующий уровень всегда будет меньше предыдущего.

Именно поэтому большие хищные животные всегда немногочисленны. Поэтому также нет хищников, которые питались бы волками. В таком случае они просто не прокормились бы, поскольку волки немногочисленны.

Неравноценность показателей при сопоставлении различных экологических пирамид дало 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.

ГЛАВА 6

ЭКОСИСТЕМЫ. ДИНАМИКА И СТАБИЛЬНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

*Невозмутимый строй во всем,
Созвучье полное в природе –
Лишь в нашей призрачной свободе
Разлад мы с нею сознаем.
Откуда, как разлад возник?
И отчего же в общем хоре
Душа не то поет, что море,
И ропщет мыслящий тростник?*

Федор Тютчев

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 поверхности Земли. Это не только комплекс живых организмов, но и все сочетание физических факторов. Отчетливое единство растений и животных, объединенных отдельным участком окружающей среды, служит примером экосистемы.

Пруд с обитающими в нем растениями, рыбами, беспозвоночными животными, микроорганизмами, донными отложениями, с характерными для него

изменениями температуры, количества растворенного в воде кислорода, состава воды и т.п.; лес с лесной подстилкой, почвой, микроорганизмами, с населяющими его птицами, травоядными и хищными млекопитающими, с характерным для него распределением температуры и влажности воздуха, света, почвенных вод и других факторов, с присущим ему обменом веществ и энергии; гниющий пенек в лесу, с живущими на нем и в нем организмами и условиями обитания, тоже можно рассматривать как экосистему.

Под **экосистемой** в настоящее время понимают любую совокупность совместно обитающих живых организмов и условий их существования (среда обитания), объединенную в единое функциональное целое. Экосистема представляет собой природный комплекс, образованный живыми организмами (биоценоз) и средой их обитания.

Экосистема – основная функциональная единица экологии, представляющая собой единство биотических компонентов с абиотической средой, организованное потоками энергии и биологическим круговоротом веществ. Это фундаментальная общность живого и среды его обитания. Экосистемный уровень организации живого является объектом экологических исследований (рис. 6.1).

Таким образом, экосистема представляет собой функциональное единство живых организмов (животные, растения,

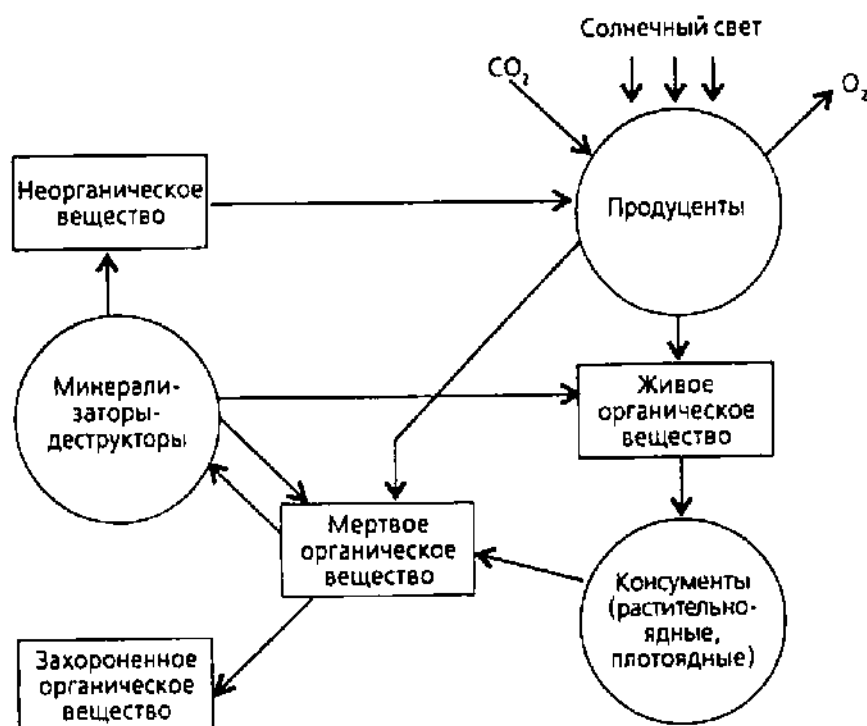


Рис. 6.1. Функциональная структура экосистемы и потоки вещества в экосистеме

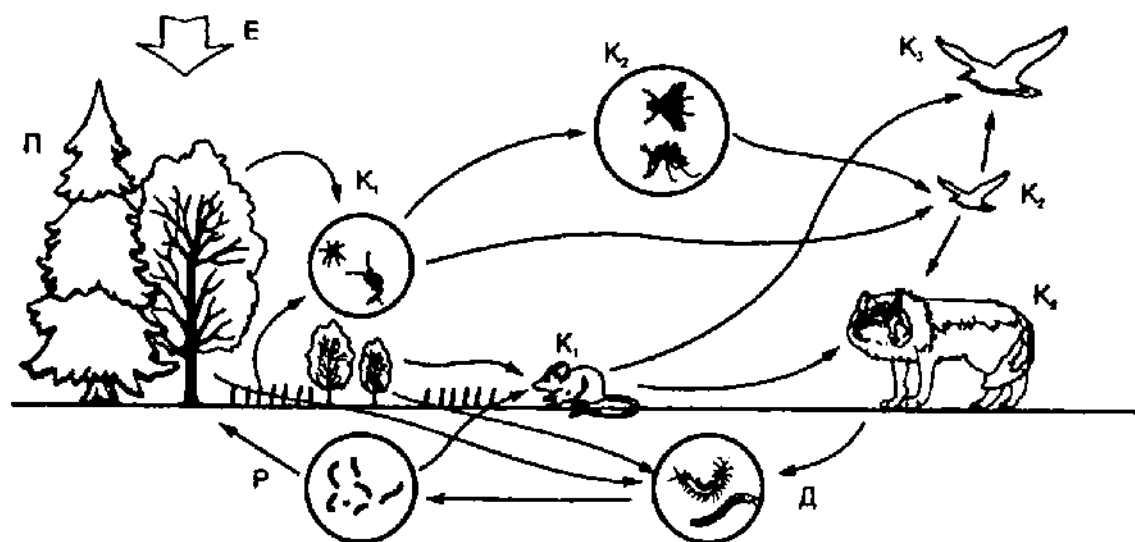


Рис. 6.2. Схема наземной экосистемы:

энергия солнечного света (E) поглощается растениями-продуцентами ($П$) и преобразуется в химическую энергию органических веществ. В цепи консументов ($K_1 - K_3$) органические вещества частично деградируют; процесс продолжают почвенные животные-деструкторы ($Д$) и завершают микроорганизмы-редуценты ($Р$). На каждом этапе значительная часть энергии используемых органических веществ рассеивается в виде тепла. Деструкторов и редуцентов часто объединяют в единую группу под любым из этих названий, объединяя тем самым процессы физического и химического разрушения и минерализации органики

грибы, микроорганизмы) и среды их обитания (климат, почва, вода) (рис. 6.2).

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 безранговым, 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.

Как видно, экосистемы могут быть очень разными по размерам: небольшая лужа в несколько квадратных метров является экосистемой, но в то же время и лесной массив в несколько сотен гектаров также представляет собой экосистему. Следовательно, площадь не является основным признаком экосистемы.

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.

Экосистемы по их размерности можно разделить на микроекосистемы (экосистема гниющего пня или дерева в лесу, прибрежные заросли водных растений), мезоэкосистемы (болото, сосновый лес, ржаное поле) и макроэкосистемы (море, океан, пустыня).

Для естественной экосистемы характерны три признака:

- 1) экосистема обязательно представляет собой совокупность живых и неживых компонентов;
- 2) в рамках экосистемы осуществляется полный цикл круговорота веществ, начиная с создания органического вещества и заканчивая его разложением на неорганические составляющие;
- 3) экосистема сохраняет устойчивость в течение определенного времени.

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). Выделение экосистемы правомочно лишь в том случае, если имеет место не только приток энергии из окружающей среды, но и приток определенного количества вещества.

6.1. Биомы. Основные типы сухопутных биомов

Главный тип сообщества любого континента, выделяемый по физиономическим признакам, – это есть биом.

Роберт Уиттекер

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, конечно, подсчитать все варианты кочек, луж и т.п. не представляется возможным. Поэтому экологи решили сконцентрировать внимание на крупных сочетаниях экосистем – биомах. По определению Одума, биом представляет собой «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.

Итак, термин «биом» применяется для крупных сочетаний экосистем. Может быть, стоило вместо термина «биом» оставить термин «экосистема»? Однако экосистема должна быть территориально целостным образованием. А например, таежные леса северного полушария (Северная Америка и Евразия) не связаны между собой. 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 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. 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.

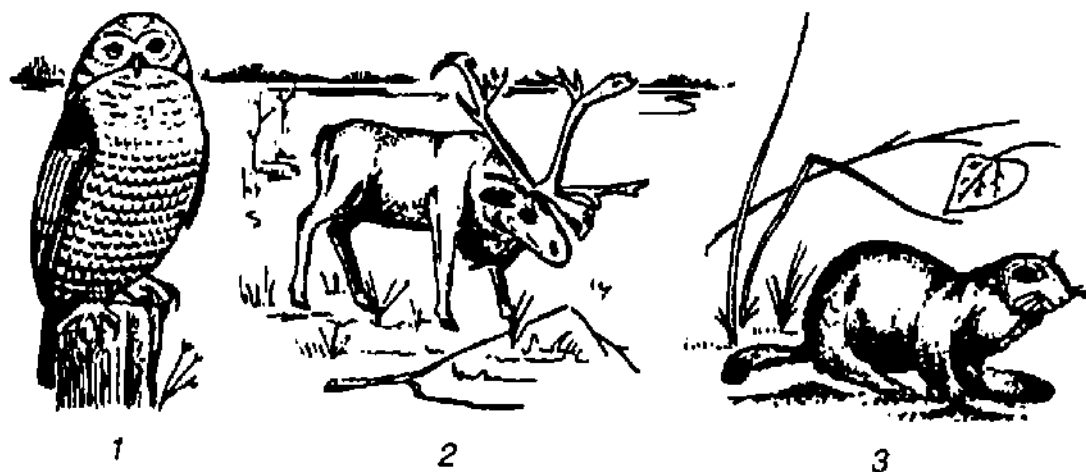


Рис. 6.3. Белая сова (1) живет в открытой тундре и питается преимущественно леммингами. Дикий олень (2) зимует в тайге и в лесотундре; весной стада оленей возвращаются в тундру. Суслик (3) обычно запасает корм на зиму, и это спасает его весной, когда пищи еще мало

Основная растительность – мхи, лишайники и травы, покрывающие землю в короткий период вегетации. Встречаются низкорослые карликовые древесные растения. Тундра, видимо, единственное место на Земле, где грибы вырастают выше деревьев. Из-за скудности растительности и жестких климатических условий крупных животных здесь мало. Основным представителем тундры – северный олень (североамериканская форма его называется карибу), встречаются заяц-беляк, лемминг и полевка (рис. 6.3). Хищников мало, в большинстве своем это песцы (рис. 6.4).

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 (рис. 6.5). Здесь растут 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: куницы, рыси, волки, росوماхи,

норки, соболи. Многочисленны грызуны. Резкие климатические контрасты между летом и зимой обуславливают колебание численности животных в годовом цикле. Цикл развития хищника зависит от цикла развития жертвы.

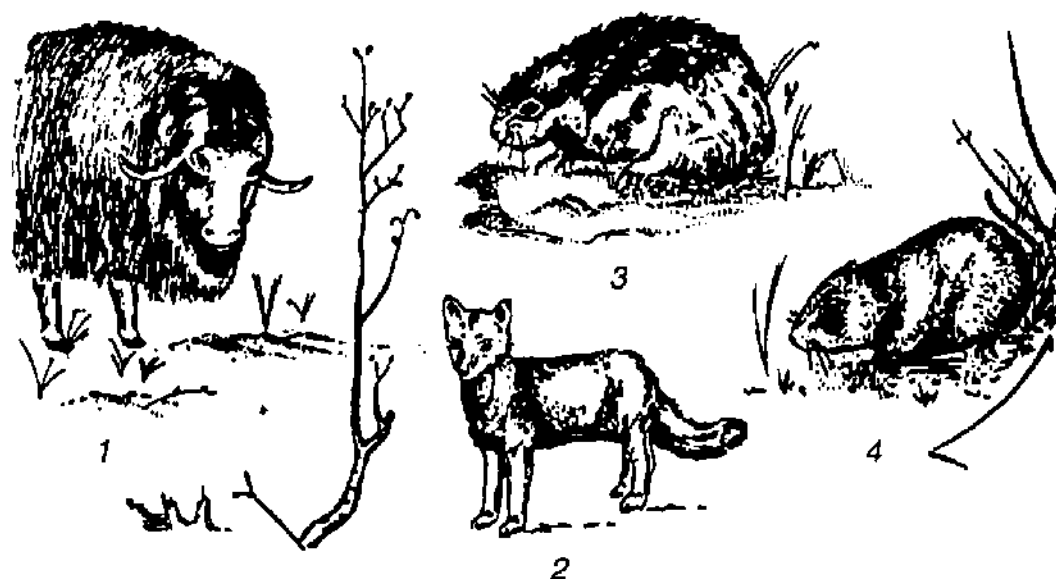


Рис. 6.4. Характерные обитатели Крайнего Севера, активные и в суровое зимнее время: овцебык (1), песец (2), лемминг (3), полевка-экономка (4)

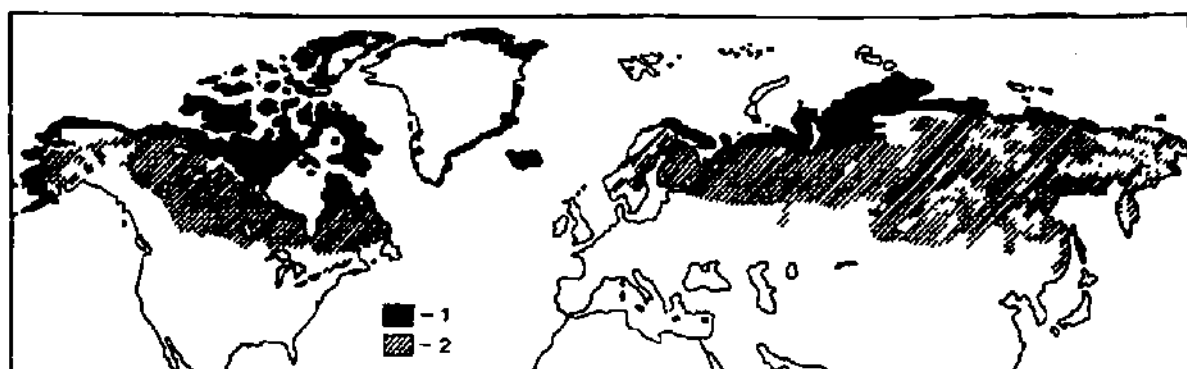


Рис. 6.5. Область распространения тундры (1) и тайги (2)

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: дуб, бук, клен, граб, орешник. Вперемешку с ними встречаются здесь и сосна, и ель. Среди представителей животного мира можно отметить кабана, волка, оленя, лисицу, медведя, а также дятла, синицу, дрозда, зяблика и др. Данный биом характерен для Центральной Европы, частично для Восточной Азии и востока США. Леса этого биома занимают плодородные почвы, что

послужило причиной их распахиwania. Современная лесная растительность здесь сформировалась под непосредственным влиянием человека.

4. Степи умеренной зоны. 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 (органическим веществом), поскольку к концу лета травы погибают и быстро разлагаются. В прежние времена на бескрайних 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 – *чапарраль*. 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 от вторжения пустынной растительности.

6. Пустыни. При рассмотрении агроклиматической карты мира, видно, что значительная часть суши на земном шаре занята пустынями, полупустынями и засушливыми зонами (рис. 6.6). Биом пустынь характерен для засушливых и полузасушливых зон Земли, где выпадает менее 250 мм осадков. Пустыни занимают около 1/5 поверхности суши. Среди них выделяют:

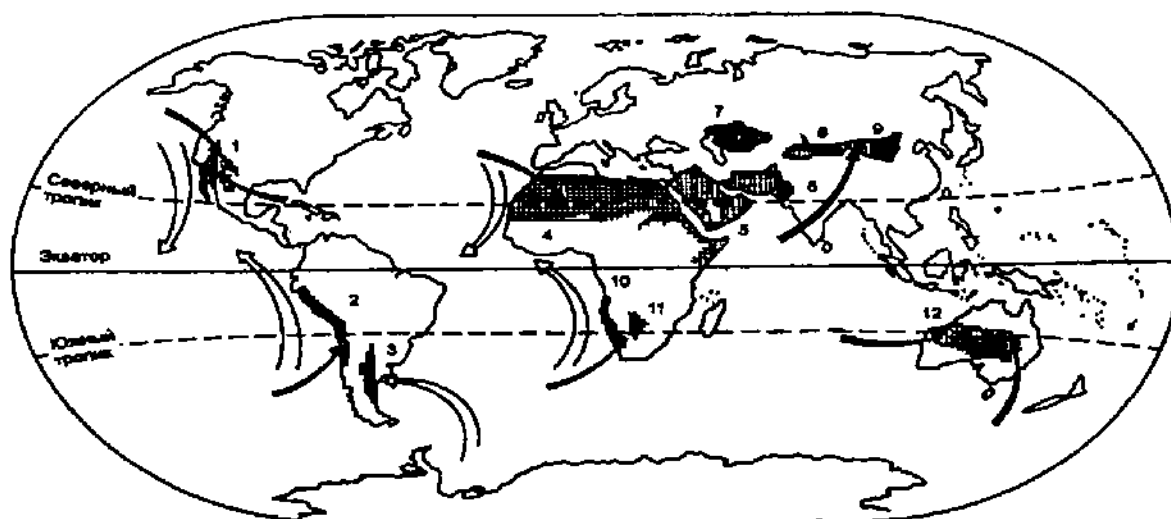


Рис. 6.6. Распространение пустынь на Земле:

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

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

- 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 сосредоточивается 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 остальное – галька, скалы, камни и солончаки.

В жестких условиях пустынь распространены виды растений и животных, приспособившихся к засухе. Пустынные растения относятся большей частью к группе суккулентов

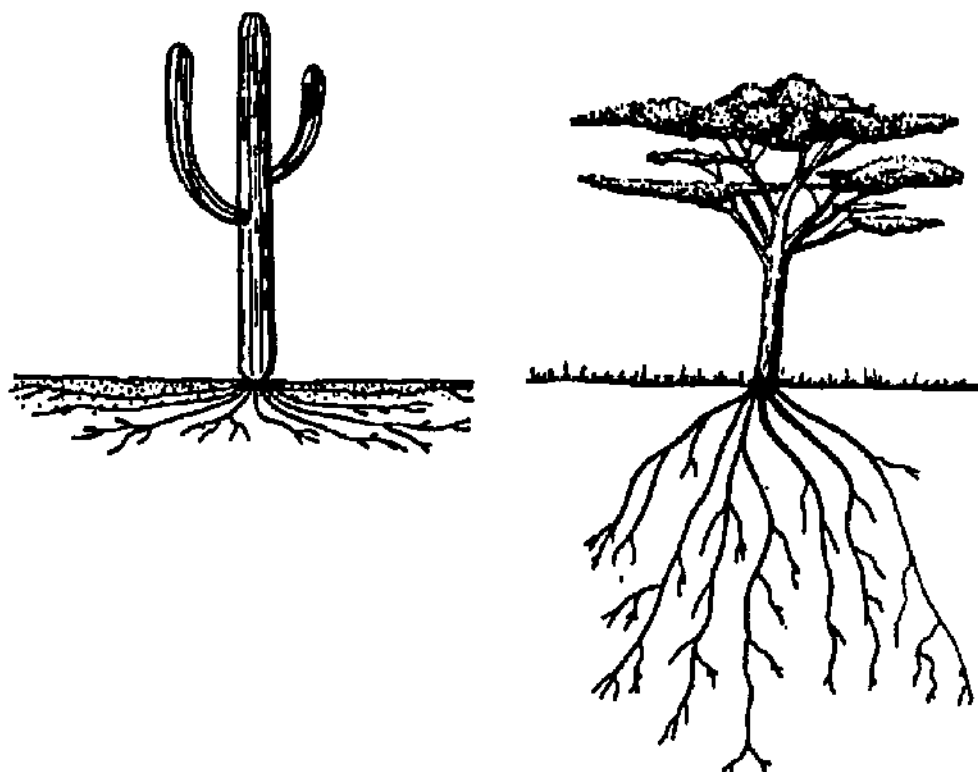


Рис. 6.7. Приспособления растений пустынь к недостатку влаги (гигантский канделябровидный кактус запасает воду в своих тканях; корни акации глубоко проникают в почву и добывают воду из нижних горизонтов)

(рис. 6.7). Это различные кактусы и молочаи. Много однолетников. В холодных пустынях обширные площади заняты растениями, относящимися к группе солянок, — виды из семейства маревых.

Животные по-разному приспосабливаются к жизни в пустыне (рис. 6.8). Они большей частью довольно малы, что по-

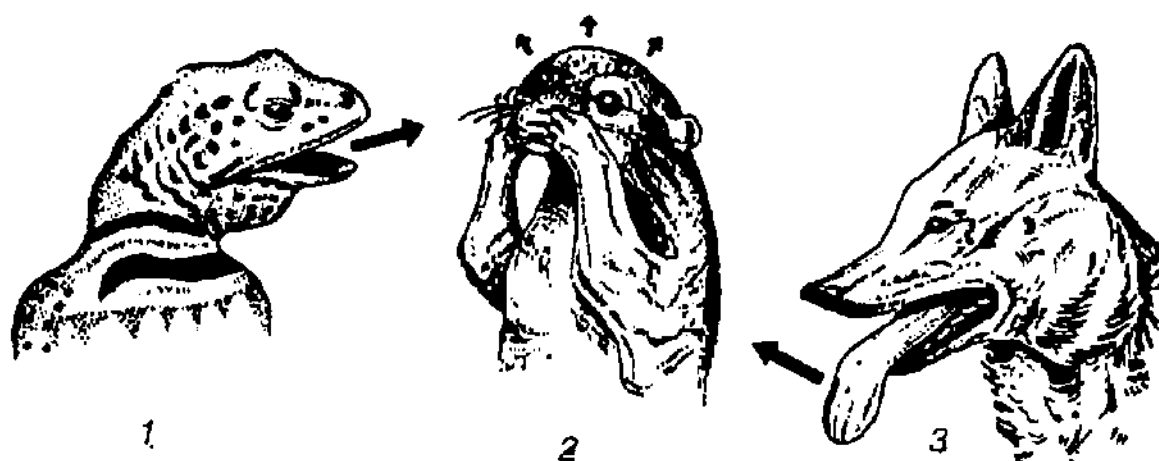


Рис. 6.8. Защита обитателей пустынь от перегрева в жару:

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

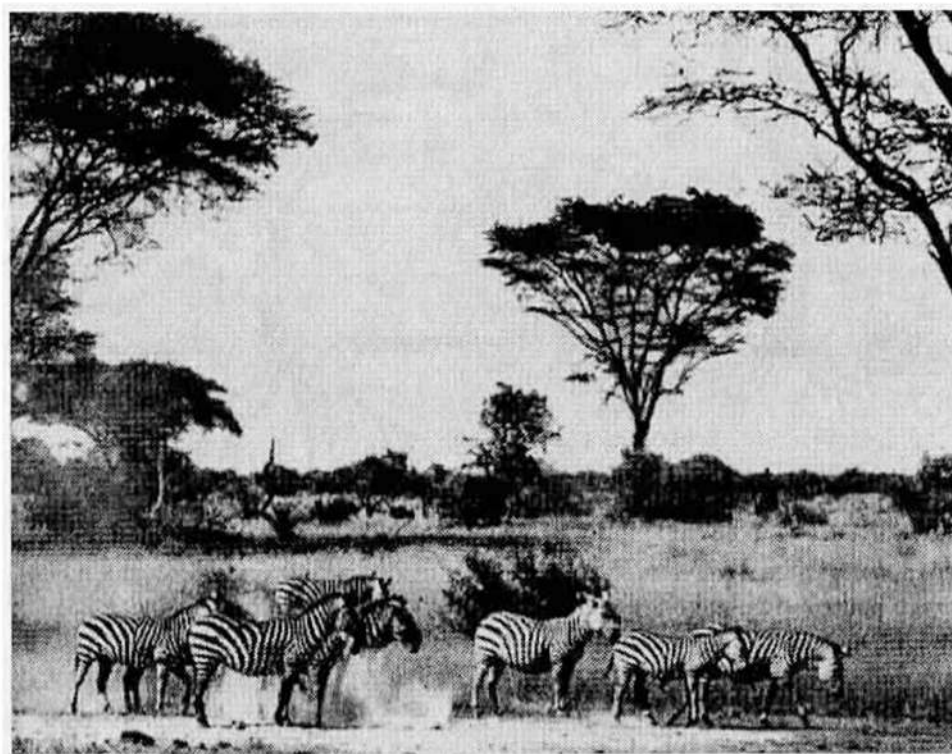


Рис. 6.9. Африканская саванна

могает им во время жары спрятаться под камнями или в норах. Пустынные животные выживают, поедая запасующие воду растения. Из крупных животных отметим 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. Им хватает влаги, получаемой за счет окисления жиров, белков и углеводов из зерен высохших трав, которыми они питаются.

Для мелких животных пустынь главным источником воды в основном является влага, содержащаяся в поедаемых ими кормах. Некоторые из этих животных вообще не умеют пить воду. Многие из них рождаются и умирают, даже и не увидав воды в обычной ее форме в течение жизни.

7. Тропические саванны и лугопастбищные земли. Там, где теплый климат имеет два сезона (сухой и влажный), вырастают травы и совсем мало деревьев. В Африке такие сообщества занимают 40 % территории и называются *саваннами*. Данный биом распространен на довольно бедных почвах, что послужило причиной относительной его сохранности.

Биом располагается по обеим сторонам от экваториальной зоны между тропиков. Наиболее характерные саванны расположены в Центральной и Восточной Африке, хотя они встречаются также и в Южной Америке, и в Австралии (рис. 6.9).



Рис. 6.10. Одно из типичных растений саванны – баобаб. В своем толстом стволе он может запастись огромным количеством воды

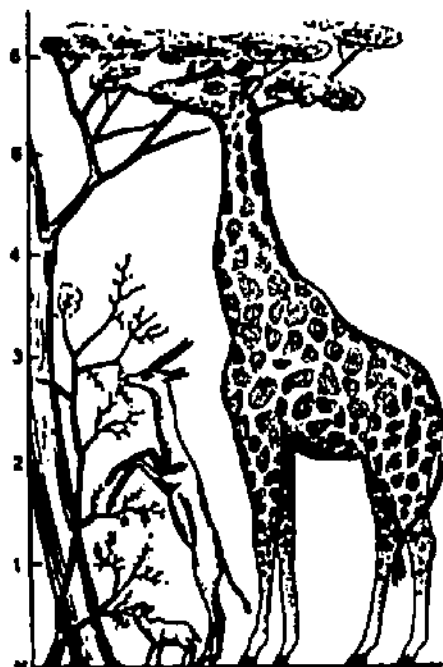


Рис. 6.11. Млекопитающие саванны используют в пищу растительность всех ярусов, так что каждый вид добывает себе пропитание без особой конкуренции. Слева направо: дикдик, жирафовая газель и жираф

Типичный пейзаж саванны – высокая трава с редкостоящими деревьями из родов акация, баобаб, древовидные молочаи (рис. 6.10). Растения вынуждены здесь приспосабливаться к сухим сезонам и пожарам.

Особенности развития трав (опыление ветром, вегетативное размножение, способность образовывать дернину и возобновлять рост несмотря на повреждения) помогают обеспечить огромное число травоядных животных источниками питания.

Отмершими растениями питаются в основном термиты. Они возводят гигантские сооружения, достигающие в поперечнике 3–4 м и высоты до 7 м. Миллионы термитов принимают участие в строительстве. Термитники состоят из почвенных частиц, которые скреплены экскрементами насекомых и выделениями из слюнных желез. Нередко число термитников достигает 2000 на гектар, составляя характерную деталь саванных ландшафтов.

Видовое разнообразие животных в саваннах значительно меньше, чем в тропических лесах, но отдельные виды выделяются высокой плотностью особей, образуя стада, табуны, стаи, прайды. В саваннах Африки пасется такое количество копытных, которое не встречается ни в одном другом биоме. Растениями питаются многие звери и птицы: бородавочники, зебры, жирафы, слоны, цесарки, страусы. В результате эволюции среди животных саванн сложилась четкая специализация в ис-

пользовании кормовой базы (рис. 6.11). Так, например, бородавочники поедают подземные части растений (корни и клубни). Траву на некотором расстоянии от земли поедают зебры. Любители листвы и веток тщательно «подстригают» кусты и деревья в разных ярусах, в верхнем ярусе кормится жираф. Пищевую конкуренцию среди растительноядных животных уменьшает использование разных кормовых объектов и различие в местах и времени питания. Хищники, как и везде, поддерживают здесь биологическое равновесие. Гепарды питаются в основном растительноядными животными, а остатки от их трапезы и падаль достаются гиенам и стервятникам.

Ярким примером биома 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 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 поределели.

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 растительность иногда украшается величественными баобабами. 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*. Самые старейшие джунгли на Земле находятся в Малайзии (Национальный природный парк Таман-Негара). Они старше, чем джунгли в Конго или на Амазонке. Им порядка 130 млн лет.

Тропические леса занимают всего около 7 % суши. Они переполнены жизнью от кроны самых высоких деревьев до лес-

ной подстилки. Разнообразие растений (свыше 4/5 всех видов) и животных (почти половина всех наземных видов) порождено, возможно, идеальными жизненными условиями (все время тепло и влажно). Ни в одном месте суши нет такого разнообразия древних форм. Считается, что земноводные как класс появились именно в зоне влажных тропических лесов, где и встречается наибольшее число видов. Здесь же сохранились представители древних групп млекопитающих: наиболее примитивные сумчатые – опоссумы в Америке, поссумы – в Австралии; в Африке и на Мадагаскаре обитают наиболее примитивные группы отряда насекомоядных – тенреки. Из полуобезьян на острове живут лемуры, в тропических лесах южной Азии и Африки – лори. Остатками очень древней ветви млекопитающих являются также обитающие в тропических лесах и весьма узкоспециализированные ящеры, броненосцы и муравьеды.

В кронах обитает многочисленное и разнообразное население. Они живут и умирают высоко над землей, практически никогда оттуда не спускаясь, полностью приспособившись к древесному образу жизни. Благодаря тому что столько различных видов деревьев плодоносят в разное время, пища оказывается доступной круглый год, и потому животные могут специализироваться на ней или почти только на ней. Среди птиц, обитающих в кронах, немало таких, которые не слишком хорошо летают, в основном они прыгают и лазают (птицы-носороги, райские птицы). Почти все птицы, кроме всеядных шалашников и райских птиц, питаются плодами. Мощные клювы позволяют использовать в пищу твердокожие плоды и даже разгрызать их косточки, а виды с небольшими клювами питаются мелкими плодами. У большинства птиц тропических лесов широкие и короткие крылья, что позволяет им маневрировать среди ветвей и взлетать почти вертикально вверх.

По разнообразию жизни на нашей планете ничто не может сравниться с тропическими дождевыми лесами. 1 га экваториального леса может вместить 42 тыс. 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 %.



Рис. 6.12. Ярусное строение тропического дождевого леса

На рисунке изображен лес на участке длиной 20 м и шириной 50 м. Растущие на этих 100 м² 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

Растительность тропического леса предстает перед путешественником сплошной стеной растений, поднимающихся на высоту до 75 м (рис. 6.12). 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. Согласно оценкам, ежегодно с лица Земли исчезает 120 000 км² тропического леса. Если не будет радикальным образом изменен нынешний характер эксплуатации тропических лесов и землепользования, то через 30–50 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 из когда-либо поражавших биосферу биологическое стихийное бедствие.

6.2. Биологическая продуктивность экосистем

Лучистая энергия солнца, усваиваемая зелеными автотрофными растениями, превращается в энергию химических связей синтезируемого вещества. Скорость фиксации солнечной энергии определяет **продуктивность** сообществ. Продуктивность автотрофных организмов представляет собой первичную продуктивность. Продуктивность представителей других трофических уровней составляет вторичную продуктивность.

Основной показатель 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 (например, г/м², г/м³, кг/га, т/км² и др.). Используют массу либо сырого, либо, чаще всего, сухого вещества. Различают растительную биомассу – фитомассу, животную – зоомассу, бактериомассу, либо биомассу каких-либо конкретных групп или организмов отдельных видов.

Величина биомассы меняется в зависимости от сезона года, миграций животных, от степени ее потребления консументами разных порядков. Например, в условиях Республики Беларусь самая низкая величина биомассы травянистых многолетних растений бывает поздней осенью, зимой и ранней весной. В период с мая по октябрь ее величина значительно увеличивается за счет роста надземных частей растений.

Продукция. Биомасса, производимая биоценозом на единице площади за единицу времени, называется **биологической продукцией**. Она выражается в тех же величинах, что и биомасса, но с указанием времени, за которое она создана (например, кг/га за месяц).

Различают два вида продукции – первичную и вторичную.

Биомасса, произведенная автотрофными организмами (зелеными растениями) на единице площади за единицу времени называется **первичной продукцией**. Ее величина определяет продуктивность всех звеньев гетеротрофных организмов экосистемы.

Суммарная продукция фотосинтеза называется **первичной валовой продукцией**. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. При этом часть энергии может идти на поддержание жизнедеятельности (дыхание) самих производителей продукции – растений. Если мы изыдем ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание, то получим **чистую первичную продукцию**. Ее можно легко учесть: достаточно собрать, высушить и взвесить растительную массу, например при уборке урожая.

В природных биоценозах 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. Например, 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.

Экологи давно пытались оценить первичную продукцию земного шара. Человека всегда волновала проблема увеличения производительности 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 зеленых растений является наиболее насущной проблемой при решении первейших задач жизнеобеспечения человека.

В табл. 6.1 приведен один из вариантов расчета первичной продукции земного шара на основании классических исследований П. Дювиньо.

Таблица 6.1. Первичная продукция разных экосистем земного шара

Экосистема	Площадь занятой поверхности земного шара, млн км ²	Выход фотосинтеза, %	Продукция, т/(га · г.)	Общая продукция сухого органического вещества, млрд т/г.
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, видно, что 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 методами 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 можно себе представить.

Вторичная продукция – это биомасса, созданная всеми консументами биоценоза за единицу времени. 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 сум-

мой первичной и вторичной продукции. Дело в том, что прирост вторичной продукции всегда происходит не параллельно росту первичной, а за счет уничтожения какой-то ее части. Получается 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 продукция колеблется от 1 до 10 % в зависимости от свойств животного и особенностей поедаемого корма.

6.3. Динамика экосистем

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 деградации и восстановления. Старые деревья отмирают, падают и перегнивают, а рядом покоящиеся до поры до времени в почве семена прорастают, 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 под воздействием урагана, пожара или при 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 проводятся 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 рассматриваются разные типы изменений растительности, которые относятся к динамическим сменам.

Основные принципиальные типы изменения биоценозов можно свести к следующим.

1. **Флуктуации** (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. Флуктуации – 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.

Флуктуации обычно зависят от сезонов года (сезонные флуктуации) либо бывают вызваны непостоянными внешними факторами, меняющимися каждый год (разногодичные флуктуации). Обычно флуктуации вызываются колебаниями климата, различиями во влажности почвы, либо ритмичностью развития растительных или животных компонентов экосистемы. Причиной флуктуаций бывает и человек, неравномерно количественно и во времени использующий растительность.

Примером флуктуации является 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 пятна 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 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 является приспособлением

к более полному использованию 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 *эфмероидами*. Если бы не было эфмероидов, 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, эфмероиды 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 флуктуация. 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 год сухой, 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 немного, они невысоки 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 др.). Лишайниковый покров в дождливые года обычно плохо выражен. Перед нами как бы другой лес, а между тем это лишь временное изменение его структуры. Вместе с изменением погодных условий изменяется и растительность. Это *разногодичная флуктуация*.

Зоогенные флуктуации (влияние животных) можно наблюдать в случае непосредственного воздействия популяции животных. Например, часто в лесах, особенно в дубравах, можно видеть порой кабанов на большой площади. Естественно, что нижние ярусы растительности здесь будут повреждены. Это циклическая флуктуация 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

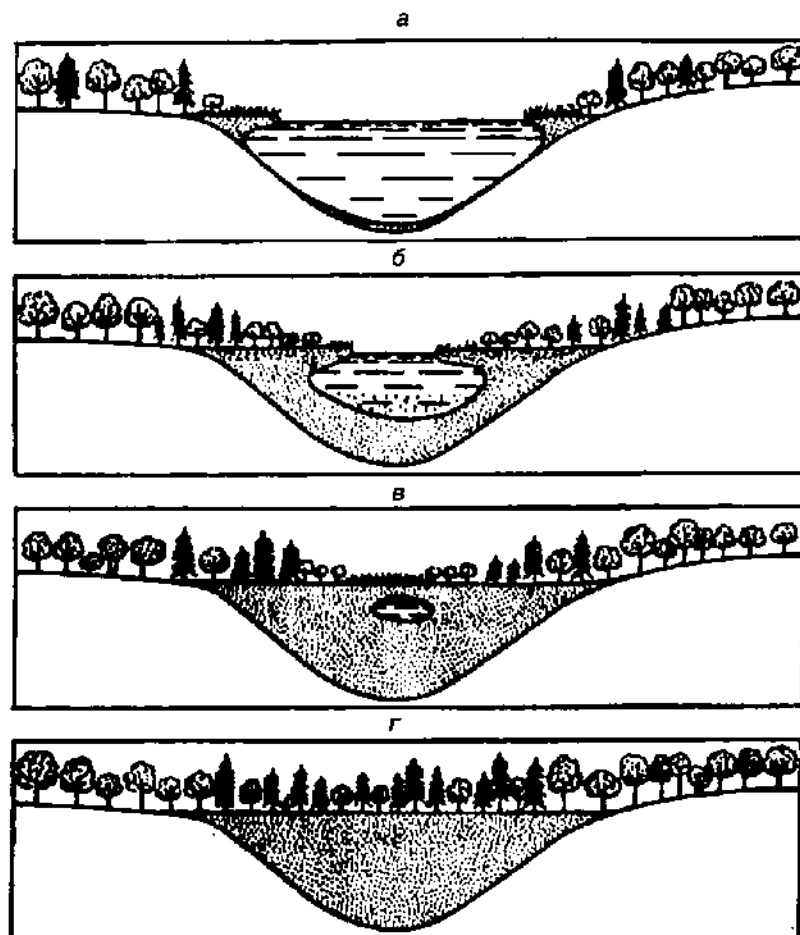


Рис. 6.13. Сукцессия при зарастании озера:

растительность славин продвигается в направлении от берегов к центру водной поверхности (а), озеро стареет (б и в); спустя несколько тысяч лет после заполнения озера разложившимся органическим веществом (торфом) оно зарастает лесом (г)

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. 6.13).

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 Клементсом. Этот тип динамики всегда находился в центре внимания экологов, и проблеме сукцессий посвящен ряд книг.

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 создавшимся условиям видов и вытеснение предыдущих. С течением времени формируется новый биоценоз с заметно отличающимся от первоначального видовым составом.

3. Эволюция (от лат. *evolutio* – развертывание) – 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 относятся 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.

6.4. Экологическая сукцессия. Классификация сукцессий. Проблемы стабильности экосистем

Напомним, что под экологической сукцессией понимается постепенная необратимая направленная смена одних биоценозов другими на одной и той же территории под влиянием природных факторов или воздействия человека.

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 (рис. 6.14). Сюда же попадают семена древесных пород: сосны, ели, березы, осины. Они легко и на большие расстояния разносятся ветром, а также животными. Попадая на слабозадерненную 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, развиваю-

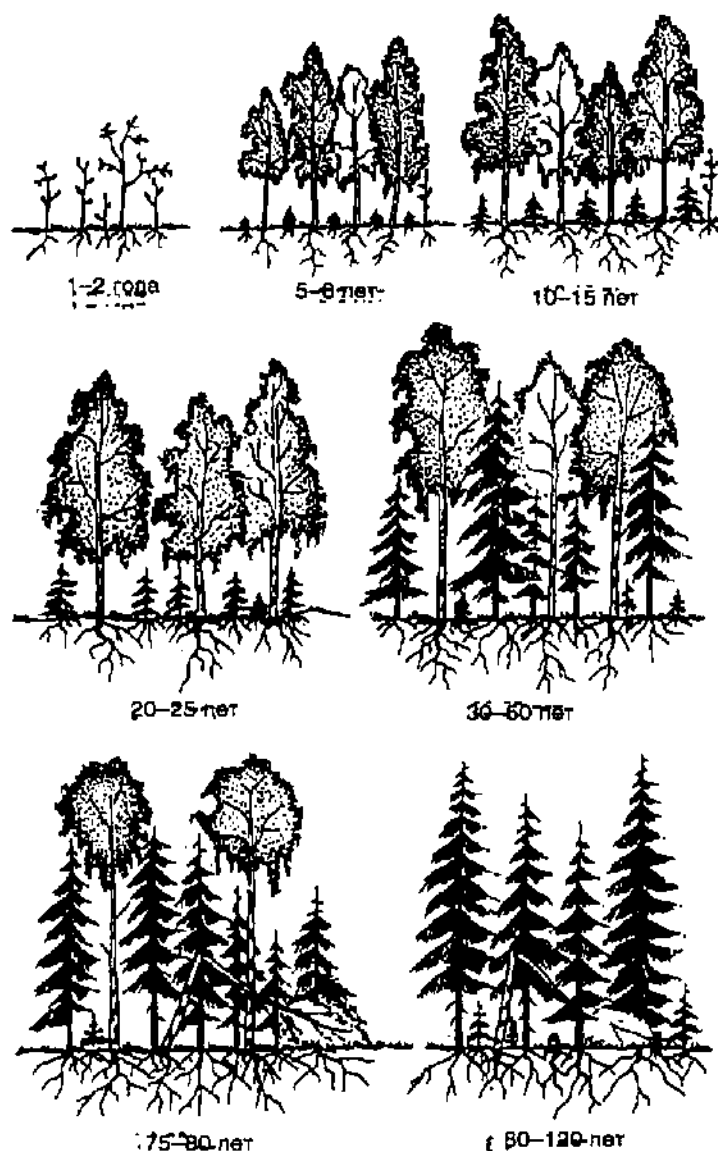


Рис. 6.14. Сукцессия: формирование елового леса на брошенных землях

щихся 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 до 10 см. Постепенно 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, белки. 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 последовательных стадий в развитии живых компонентов биоценоза называется *сукцессионным рядом*. В нашем примере это березняк → елово-березовый лес → ельник.

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. 6.15). Изменение раститель-

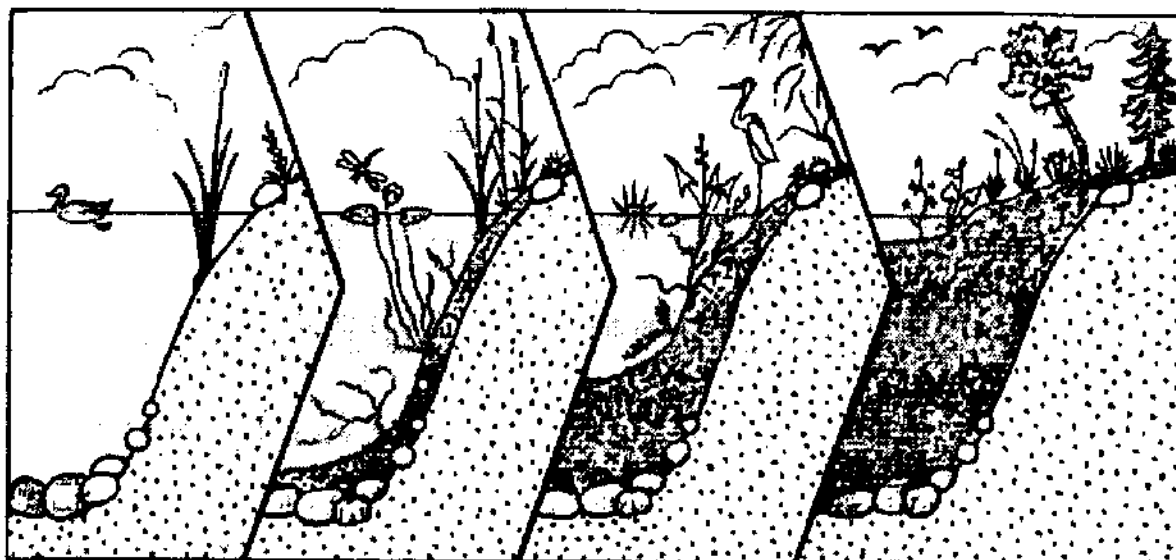


Рис. 6.15. Превращение озера в низинное болото

ности на болотах начинается с того, что края водоема зарастают водными растениями. Вблизи берегов сплошным ковром разрастаются влаголюбивые виды растений (камыш, тростник, осока). 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 превращаются в торф. Начинается формирование болотного биоценоза: появляются сфагновый мох, на сплошном ковре которого поселяются клюква, багульник, голубика, 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* – возникновение), причины которых определяются внешними влияниями (природными или антропогенными), изменяющими условия среды. Таким образом, при аллогенной сукцессии источник изменения биоценоза находится в окружающей его среде. Движущие силы сукцессии имеют направленный характер: среда → растительность.

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

Сукцессии, происходящие в результате изменения условий среды самими сообществами в отсутствие постепенного

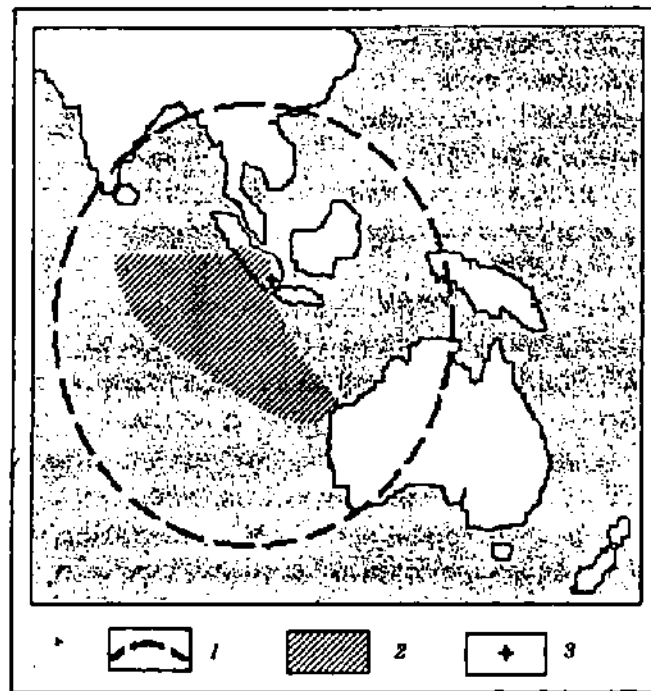


Рис. 6.16. Последствия взрыва вулкана Кракатау:

1 – зона распространения звуковой волны от взрыва; 2 – площадь пеплопада; 3 – вулкан Кракатау

изменения абиотических факторов, называются **автогенными** (от греч. *autos* – сам и *genesis* – происхождение). В данном случае источником смены служит сама растительность, которая посредством изменения среды своего существования меняет 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.

Интересным примером первичной сукцессии может служить заселение живыми существами острова Кракатау, расположенного между островами Суматра и Ява в Индонезии. Ранним августовским утром 1883 г. взорвалась вершина вулкана Кракатау. Его взрывное извержение и последовавшая за этим мощная волна цунами высотой до 40 м унесли жизни свыше 36 тыс. человек. Звук взрыва тогда был слышен на расстоянии 4650 км, грохот разорвал барабанные перепонки моряков за 40 км от него, а атмосферные эффекты наблюдались по всему миру (рис. 6.16).

На воздух было поднято 24 км³ скал. Горячий пепел засыпал территорию площадью свыше 800 тыс. км². От острова осталась только гора, покрытая пеплом. Интенсивные зори, возникшие в результате уменьшения прозрачнос-

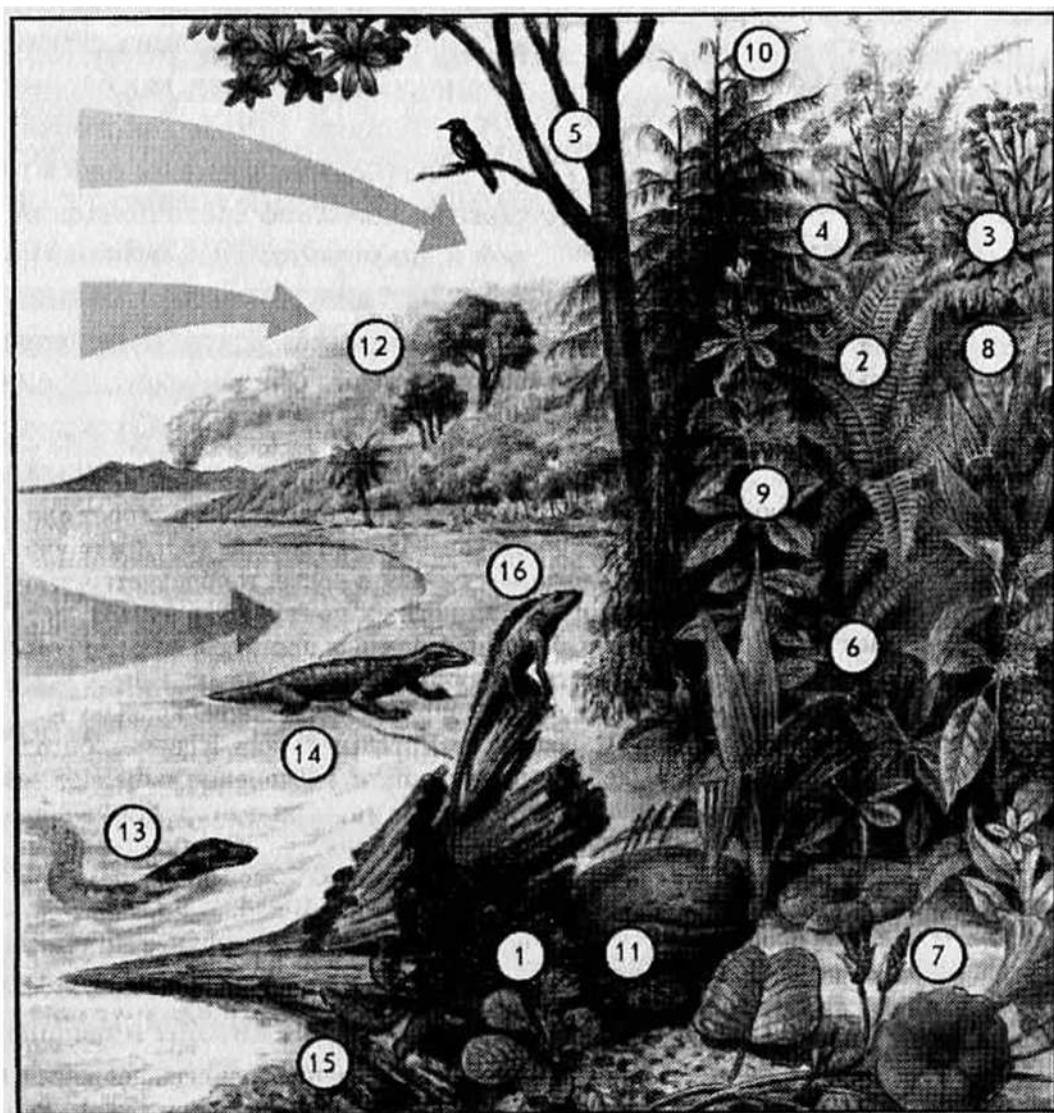


Рис. 6.17. Возрождение жизни на Кракатау

ти 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 (рис. 6.17).

Большая часть растений и животных прибыла с Явы и Суматры, расположенных примерно в 40 км от Кракатау. Первым на острове через 9 месяцев после взрыва был обнаружен плетущий паутину паук (1). Занесенные ветрами синезеленые водоросли подготовили условия, в которых уже могли прорасти микроскопические споры мхов, папоротников (2) и таких цветковых растений, как эмилия (3) и веделия (4). Море выбросило на берег семена каллофиллума (5), турнефорции (6) и ипомеи (7): все они проросли и пустили корни. По мере того как формировался почвенный покров, растениям становилось все легче обживать на острове. В 1896 г. занесенные ветром семена дикого сахарного тростника дали буйные побеги, и даже крохотные спороподобные семена прихотливой орхидеи (8) нашли себе подходящее пристанище.

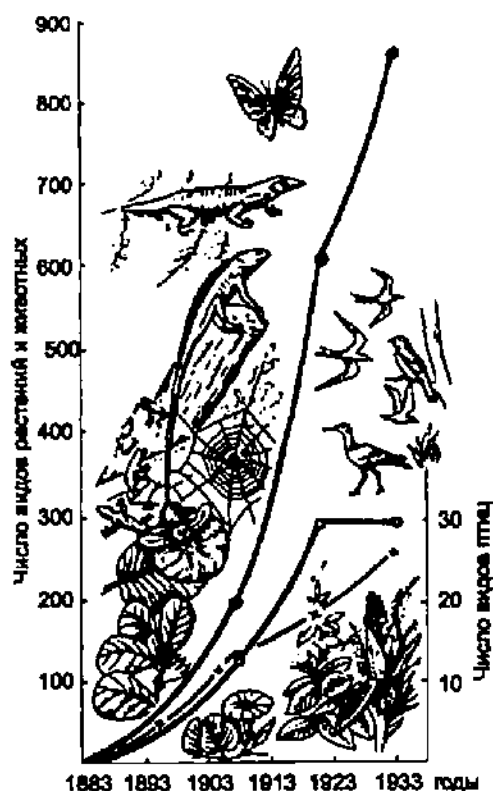


Рис. 6.18. Динамика видового разнообразия на острове Кракатау после полного уничтожения аборигенной флоры и фауны вулканическим взрывом в 1893 г.:

крестики — число видов растений;
 светлые кружки — число видов птиц;
 черные кружки — прочие виды

разом, 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, извержением вулкана, землетрясением — так называемая **катастрофическая** сукцессия, либо пожаром — **пирогенная** сукцессия. 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.

Каждая стадия сукцессии характеризуется изменениями не только в структуре растительности, но и в животном ком-

Проросли и заброшенные прибоем выше верхней отметки прилива семена таких тропических деревьев, как баррингтония (9), казуарина (10) и кокосовая пальма (11). Случайные птицы и насекомые, вероятно, довольно часто попадали на остров и, по мере того как появлялись необходимые для их существования растения, оставались здесь. В пищеварительном тракте птиц на остров заносились семена фигового дерева (12) и других растений. Некоторые семена попадали сюда, прицепившись к перьям птиц. Если не считать таких отличных пловцов, как питон (13) и варан (14), большинство пресмыкающихся — гекконы (15), агамы (16) и сцинки или их яйца — попадали на остров в основном на плавающих деревьях.

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 (рис. 6.18). Таким об-

поненте биоценоза. 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 обилии водных животных, главным образом рыбы. Часто при строительстве водохранилищ приходится затапливать 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 обилия 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, происходящего 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 и продукция живых организмов возрастает, а круговорот веществ становится все более замкнутым.

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.

6.5. Биогеоценоз. Теория биогеоценологии по В.Н. Сукачеву

Любой участок должен рассматриваться как определенное природное единство, где вся растительность, фауна и микроорганизмы, почва и атмосфера находятся в тесном взаимодействии и взаимообусловленности.

В.Н. Сукачев

В истории экологии 20–40-е гг. XX в. 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. Естественнонаучные 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 почвоведов В.В. Докучаева и геохимика, основателя учения о биосфере В.И. Вернадского.

Еще в 1899 г. 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** (био... + гео... + греч. *koinos* – общий). Основоположником биогеоценологии стал выдающийся геоботаник, лесовод и эколог академик В.Н. Сукачев, предложивший свою трактовку структурной организации биосферы. Сукачев посвятил 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 привлекала его с ранней юности (первый научный труд был им опубликован в 18 лет). С этих пор В.Н. Сукачев целиком посвятил себя науке. Интересы ученого были необыкновенно широки, что поражало современников. Он оставил частицу своего «я» 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.

Смысл биогеоценологии В.Н. Сукачев точнее всего выразил в следующих словах: *«Живое само создает для себя среду обитания. Вся верхняя пленка нашей планеты создана жизнью»*.

По В.Н. Сукачеву, биогеоценоз – это элементарная ячейка насыщенных организмами слоев биосферы, маркируемая фитоценозом – растительным сообществом. Это эволю-

ционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система живых организмов и абиотической среды, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией. Сущность биогеоценоза Сукачев видел в процессе взаимного обмена веществом и энергией между составляющими его компонентами, между ними и окружающей внешней средой, а также между самими биогеоценозами. Однако 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 (автотрофные организмы) развиваются на вполне конкретном субстрате – почве, представляющем 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 пос-

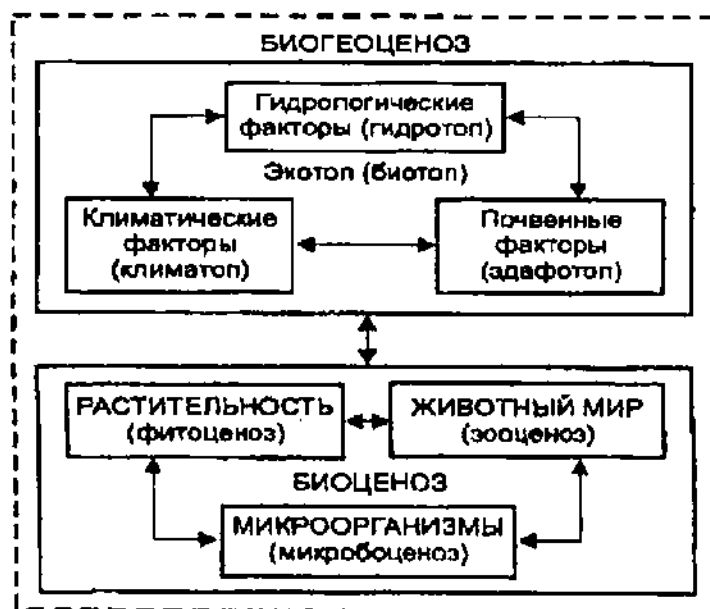


Рис. 6.19. Структура биогеоценоза

леднее время в структуру абиотической среды биогеоценоза включают также и гидрологические факторы – *гидротоп* (рис. 6.19). Такая совокупность абиотических компонентов биогеоценоза носит название **биотоп**.

Все взаимодействия компонентов биогеоценоза связаны между собой совокупностью пищевых цепей и взаимообусловлены. Каждый компонент в природе неотделим от другого. Главным создателем 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 важ-

ны взаимодействия между микроорганизмами и растительностью, микроорганизмами и позвоночными и беспозвоночными животными.

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., где он определяет биогеоценоз как **участок земной поверхности с однородными природными явлениями (атмосфера, горная порода, растительность, животный мир, микроорганизмы, почва, гидрологические условия), которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.**

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.

Биогеоценоз и экосистема – понятия *сходные, но не одинаковые*. Биогеоценоз следует рассматривать как иерархически элементарную комплексную, т.е. состоящую из биотопа и биоценоза, экосистему. Важно понять, что каждый биогеоценоз является экосистемой, но не каждая экосистема соответствует биогеоценозу, хотя в основе обеих формулировок лежит принцип единства живых и неживых компонентов биологических систем.

Прежде всего, любой биогеоценоз выделяется только на суше. На море, в океане и вообще в водной среде биогеоценозы не выделяются. Биогеоценоз имеет конкретные границы. Они определяются границами растительного сообщества – фитоценоза. Образно говоря, биогеоценоз существует только в рамках фитоценоза. Там, где нет фитоценоза, нет и биогеоценоза. Понятия экосистема и биогеоценоз совершенно тождес-

твенны только для таких природных образований, как, например, лес, луг, болото, поле: лесной биогеоценоз = лесная экосистема; луговой биогеоценоз = луговая экосистема и т.п. Для природных образований, меньших или больших по объему, нежели фитоценоз, либо там, где фитоценоз выделить нельзя, применяется только понятие «экосистема». Например, кочка на болоте – экосистема, но не биогеоценоз; текущий ручей – экосистема, но не биогеоценоз. Точно также только экосистемами являются море, тундра, влажный тропический лес и т.п. В тундре, в лесу можно выделить не один фитоценоз, а множество. Это совокупность фитоценозов, представляющих более крупное образование, нежели биогеоценоз.

Понятие биогеоценоза как определенного элемента биосферы является биохорологическим (от греч. *chora* – место, пространство), 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.

6.6. Агроэкосистемы, их особенности

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

Агроэкосистемы, как и природные экосистемы, характеризуются набором составляющих их видов (т.е. обладают определенным составом организмов) и определенными взаимоотношениями между организмами и средой обитания. В агроценозе складываются те же цепи питания, что и в естественных экосистемах. Например, трофическую структуру ржаного поля определяет набор продуцентов (рожь, сорняки), консументов (насекомые, птицы, полевки, лисы) и редуцентов (грибы, микроорганизмы). Однако в отличие от естественной экосистемы обязательным звеном пищевой цепи здесь является человек, который формирует агроценозы, исходя из их практической значимости, и обеспечивает их высокую продуктивность.

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

Первым отличием является то, что 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 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 многообразны, многокомпонентны.

Второе отличие – пути отбора организмов в агроценозе. 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 зерновых в канадских прериях, причем более половины площадей, отведенных под пшеницу, засеивается всего одним сортом. То же касается и картофеля: 72 % его сборов в США обеспечиваются всего лишь четырьмя сортами, а все производство культуры 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.

Третье отличие агроэкосистемы 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.

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 данных 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 места. Оказывается, для большинства землян они более экзотичны, нежели бананы, апельсины, кокосы, не говоря уже о таких массовых тропических культурах, как бататы и кассава, занимающих 6-ю и 7-ю строчки в этом списке.

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 пород, характеристики которых в данное время имеют меньшую ценность. Не так давно в любом районе и практически в любой 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.

Четвертое отличие – для агроценозов, по сравнению с естественными биоценозами, характерна большая открытость. В естественных экосистемах первичная продукция растений потребляется в многочисленных цепях питания и вновь возвращается в систему биологического круговорота в виде углекислого газа, воды и элементов минерального питания. Агроценозы же более открыты, и из них изымается вещество и энергия с урожаем, животноводческой продукцией, а также в результате разрушения почв. Смена растительного покрова в агроценозах происходит не естественным путем, а по воле человека, что не всегда хорошо отражается на качестве входящих в агроэкосистему абиотических факторов. 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 влияет сохранность среды обитания полезных насекомых (опылителей) 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. Известна также «антиворобьиная» 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.

Все искусственно создаваемые в сельскохозяйственной практике агроэкосистемы полей, садов, пастбищных лугов, огородов, теплиц представляют собой системы, специально поддерживаемые человеком. В агросистемах используется именно их свойство производить высокую чистую продукцию, так как все конкурентные воздействия на культивируемые растения со стороны сорняков сдерживаются агротехническими мероприятиями, а формирование пищевых цепей за счет вредителей пресекается с помощью различных мер, например химической и биологической борьбы. Но эти сообщества неустойчивы, не способны к самовосстановлению и саморегулированию, подвержены угрозе гибели от массового размножения вредителей или болезней. Для их поддержания необходима постоянная деятельность людей.

БИОСФЕРА КАК ВЫСШИЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

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

Н. Заболоцкий

7.1. Состав и строение биосферы

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.

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 цельное 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.

В лекциях 1800 г. французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк (1744–1829) 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 заключил, 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.

Обобщения, сделанные Ламарком, позволяют нам говорить о том, что высказанные им идеи содержат в себе зачатки понятия о биосфере.

Во времена Ламарка все многообразие окружающего мира – от атомов до планет – делилось на три царства: растения, животные, минералы. Ламарк, упростив это деление, всю природу

ду разделил на два царства: живое и неживое. В своей знаменитой «Философии зоологии» он составил таблицу противоположностей живого и неживого.

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. Именно Зюссу и отдается приоритет в первом употреблении термина «биосфера». 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».

Еще в XVII – XVIII вв. многими учеными высказывалась идея о взаимосвязанности всех процессов в живой и неживой природе. Исследователи разных областей подготавливали почву, на которой в начале XX в. появились ростки глобального учения о биосфере. Известный математик Н.Н. Моисеев по поводу глобальности некоторых проблем писал: «Эпитет “глобальный” возник в начале 70-х гг. 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.

Согласно современным представлениям, **биосфера** (от греч. *bios* – жизнь и *sphaira* – шар) – это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

По определению основоположника учения о биосфере В.И.Вернадского, биосфера – это 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 планете.

На Земле разнообразны условия 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 – 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.

Другие планеты тоже могут иметь ядро, мантию, кору и атмосферу. Так, на спутнике Сатурна Титане возможно существование морей из жидкого метана, а на некоторых 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 на таком расстоянии от Солнца, которое обеспечивает существование жизни, – 149 млн км. Она движется со скоростью около 107 тыс. 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 нашу 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 непрерывно воспроизводит себя и проявляется в возникновении новых видов и особей, каждая из которых уникальна. Количество вариантов и возможных генетических комбинаций, приводящих 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, прошедших 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.

7.2. Учение В.И. Вернадского о биосфере

Одним из выдающихся естествоиспытателей, посвятивших 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». 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.

Советский ученый Владимир Иванович Вернадский (1863– 1945) – академик Петербургской академии наук (1912), первый президент АН УССР. Профессор Московского университета (1898–1911), один из организаторов и председателей (1915–1930) «Комиссии по изучению естественных производительных сил России». Автор трудов по философии естествознания, науковедению, создатель учения о биосфере и ее эволюции, о мощном воздействии человека на окружающую среду и о преобразовании современной биосферы в ноосферу – сферу разума.

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 юношу в мир химии, вернее, Вернадскому открылась химическая сторона жизни природы.

По окончании 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. благодаря швейцарскому химику Кристиану Фридриху Шенбейну. 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 деятельность человечества как стихийный природный процесс, зародившийся в глубинах истории.

Будучи глубоким теоретиком, В.И. Вернадский стоял у истоков таких новых и общепризнанных ныне наук, как радиогеология, биогеохимия, науковедение, учение о биосфере и ноосфере.

В 1926 г. В.И. Вернадский опубликовал в Ленинграде книгу под названием «Биосфера», которая ознаменовала рожде-

ние 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.

Основа концепции биосферы – представление о живом веществе. Более 90 % всего живого вещества приходится на наземную растительность (98 % биомассы суши). Живое вещество – наиболее мощный геохимический и энергетический фактор, ведущая сила планетарного развития. Основным источником биохимической активности организмов – это солнечная энергия, используемая в процессе фотосинтеза зелеными растениями и некоторыми микроорганизмами для создания органического вещества, которое, в свою очередь, обеспечивает пищей и энергией остальные организмы. Фотосинтез привел к накоплению в атмосфере свободного кислорода, образованию озонового слоя, защищающего от ультрафиолетового и жесткого космического излучения. Он поддерживает современный газовый состав атмосферы. Жизнь на Земле всегда существовала в форме сложно организованных комплексов разнообразных организмов (биоценозов). Вместе с тем живые организмы и среда их обитания образуют целостные системы – биогеоценозы. Питание, дыхание и размножение организмов и связанные с ними процессы создания, накопления и распада органического вещества обеспечивают постоянный круговорот вещества и энергии. С этим круговоротом связана миграция атомов химических элементов через живое вещество. Так, весь атмосферный кислород оборачивается через живое вещество за 2000 лет, углекислый газ за 300 лет. Состав самих организмов характеризуется большим разнообразием органических и вообще химических соединений. Благодаря живому веществу на планете образовались почвы и органическое минеральное топливо (торф, уголь, возможно, нефть).

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 на 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 свыше 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 11 км. Вверх, в атмосферу, биосфера простирается не выше наибольших плотностей озонового экрана, что составляет 22–24 км. Следовательно, предел протяженности биосферы выражается цифрой 39–40 км.

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 т.д., 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* – участок с однородными экологическими условиями, занятый определенными биоценозами, *экотоп* – 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 (рис. 7.1):

- 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 в радиоактивном распаде (элементы и изотопы уранового, ториевого и актиноуранового ряда);
- вещество рассеянных атомов земного происхождения 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;

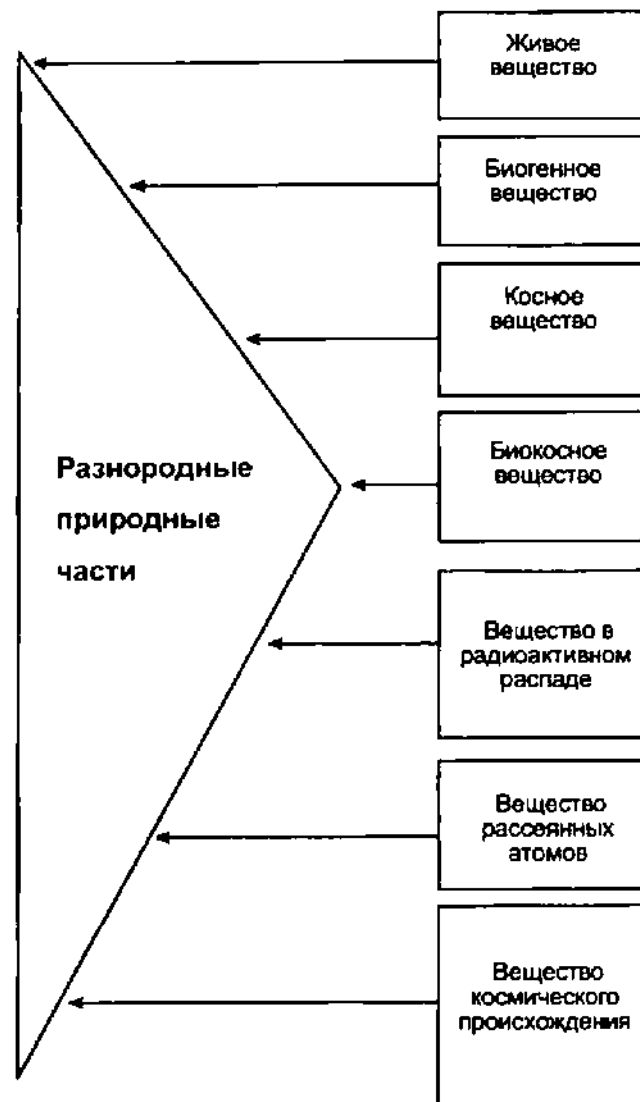


Рис. 7.1. Основные типы веществ, слагающих биосферу Земли

- 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 растения 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. Он подсчитал, что поверхность Земли составляет меньше одной десятитысячной 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. Вернадский составил таблицу из 16 пунктов, где рассмотрел несходство живого и неживого в физическом, химическом и термодинамическом смысле.

Анализ таблицы показал, 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.

7.3. Живое вещество планеты. Функции живого вещества

Одна из особенностей живого вещества – в том, что оно выполняет химические реакции с замечательной точностью и упорядоченностью и в гораздо менее жестких условиях, чем при производстве веществ чисто химическими методами.

Александр Тодд

Учение о живом веществе является одним из центральных звеньев концепции биосферы. Исследуя процессы миграции атомов в биосфере, В.И. Вернадский подошел к вопросу о генезисе (происхождении, возникновении) 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». «Под именем живого вещества, – писал Вернадский в 1919 г., – я буду подразумевать всю совокупность всех организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки зрения, эта совокупность организмов имеет значение только той массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией. Очевидно, только с этой точки зрения, имеет значение живое вещество и для почвы, так как, поскольку мы имеем дело с химией почв, мы имеем дело с частным проявлением общих геохимических процессов».

Тогда же ученый впервые высказал мысль о совместном нахождении химических элементов в живом веществе, которое определяется биологическими свойствами организмов, а не химическими свойствами элементов. К основным таким элементам Вернадский относил С, О, Н, N, S, P, Cl, K, Mg, Ca, Na, Fe, к которым обычно присоединяют еще Si, Mn, F, J, Co, B, Ba, Sr, Pb, Zn, Ag, Br, V и т. д. В живом организме всегда содержится не менее 20 – 25 химических элементов, эти элементы оказываются вместе после гибели живого в исключительно малых объемах, высоких концентрациях и в соотношениях, которые определяет жизнь.

Итак, **живое вещество биосферы – это совокупность всех ее живых организмов.** Главное предназначение живого вещества и его неотъемлемый атрибут – накопление свобод-

ной 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.

В 30-е гг. XX в. В.И. Вернадский из общей массы живого вещества выделяет человечество как его особую часть. Такое обособление 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.

В-третьих, его геохимические функции характеризуются не массой, а производственной деятельностью. Характер усвоения человечеством биогеохимической энергии определяется 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. Например, 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. При этом клеткам изначально предназначено быть самими собой, за исключением яйцеклетки, из которой развивается целый организм.

В.И.Вернадский отмечал, что живые организмы планеты – это наиболее постоянно действующая и могущественная по своим конечным последствиям химическая сила. Он указывал, что живое вещество неотделимо от биосферы, является ее функцией и одновременно «одной из самых могущественных геохимических сил нашей планеты». Круговорот отдельных веществ В.И.Вернадский назвал биогеохимическими циклами. Эти циклы обеспечивают важнейшие функции живого вещества в целом. Ученый выделил пять таких функций.

Газовая функция. Осуществляется зелеными растениями, выделяющими кислород в процессе фотосинтеза, а также всеми растениями и животными, выделяющими углекислый газ в результате дыхания. Происходит также круговорот азота, связанного с деятельностью микроорганизмов. В.И.Вернадский писал, что все газы, образующиеся в биосфере, теснейшим образом связаны своим происхождением с живым веществом, всегда биогенны и изменяются главным образом биогенным путем.

Основные газовые функции, по В.И.Вернадскому, следующие.

■ Кислородно-углекислотная, носителем которой являются хлорофилльные растения. Ими создается подавляющая масса кислорода на планете. Из-за того что ночью фотохимический процесс прекращается, а на смену ему приходит процесс образования углекислоты, эта функция называется кислородно-углекислотной.

■ Углекислотная (отдельная от кислородной). В результате жизнедеятельности животных, грибов и бактерий создается биогенная углекислота.

■ Озонная и перекисьводородная. В.И.Вернадский считал, что озон и перекись водорода являются продуктами жизни (через кислород, идущий на образование озона и перекиси). Озон, образуясь из биогенного кислорода, защищает биосферу от губительного ультрафиолетового излучения.

■ Азотная. В.И.Вернадский полагал, что свободный азот атмосферы создается живым веществом почвы.

■ Углевodородная. Биогенные газы – углеводороды – создаются живым веществом. Их роль в биосфере очень велика, но мало изучена.

■ Водная, проявляющаяся в биогенном круговороте воды. Биогенная роль водной функции проявляется в том, что состояние растительного покрова самым тесным образом связано с влажностью воздуха, содержанием воды в почве и подпочве. Наиболее ярко она выражена в лесах суши, сведение которых ведет к изменению и перестройке всего биогеохимического круговорота воды в биосфере.

■ Сероводородная и сульфидная функции. Проявляются в действии окислительно-восстановительной системы. Они играют большую роль во всех почвах, особенно в условиях щелочной и нейтральной реакции среды. В присутствии органического вещества и при недостатке кислорода в почве через цепь химических реакций образуется сероводород, который уходит в атмосферу. Система сульфаты $\leftrightarrow$ сульфиды сдвигается в сторону сульфидов. При этом развивается процесс десульфирования или десульфации почвенного раствора, грунтовых или глубинных подземных вод. В результате наблюдается постепенное исчезновение из почвы сернокислых солей и подщелачивание раствора. Такие процессы характерны для луговых солончаковых почв, торфяных болот, донных отложений застойных водоемов, полей орошаемого риса.

В период просыхания переувлажненных почв наблюдается снижение доступа кислорода и уровня грунтовых вод. В связи с этим происходит сдвиг окислительно-восстановительной системы в другую сторону, в результате чего развиваются окислительные процессы. В почвах и грунтах образуются соединения серы, окисляемые в дальнейшем до серной кислоты и сульфатов. Часть серы из системы утрачивается в виде сероводорода.

Таким образом, образование сероводорода является следствием биогенной деятельности животных и бактерий почвы. Превращение органической серы бактериями и животными в конечный продукт – сероводород и восстановление минераль-

ной серы бактериями в процессе десульфирования в сероводород – две стадии сероводородной функции живых организмов.

Концентрационная функция. Проявляется в способности живых организмов накапливать в своих телах многие химические элементы (на первом месте стоит углерод, среди металлов – кальций). Способность концентрировать элементы из разбавленных растворов – характерная особенность живого вещества. Например, морские организмы активно накапливают микроэлементы, тяжелые металлы (ртуть, свинец, мышьяк), радиоактивные элементы.

В.И.Вернадский различал:

1) концентрационные функции I рода, когда живым веществом из окружающей среды концентрируются те химические элементы, которые содержатся во всех без исключениях организмах (H, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe);

2) концентрационные функции II рода, когда наблюдается накопление химических элементов, которые в живых организмах не встречаются или могут встречаться в очень малых количествах. Например, голотурии способны накапливать ванадий. Дождевые черви могут накапливать цинк, медь, свинец и кадмий в своих тканях. Водоросли рода ламинария накапливают в себе йод.

Окислительно-восстановительная функция. Выражается в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности организмов. В результате этого образуются соли, оксиды, новые вещества. С данной функцией связано формирование железных и марганцевых руд, известняков и т.п.

Биохимическая функция. Определяется как размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества. Все это приводит к круговороту химических элементов в природе, их биогенной миграции.

В.И.Вернадский выделял I биохимическую функцию, которая связана с питанием, дыханием и размножением организмов, и II биохимическую функцию, которая связана с разрушением тел живых организмов после их смерти. При этом происходит ряд биохимических превращений: живое тело → биокосное → косное.

Функция биогеохимической деятельности человека. Связана с биогенной миграцией атомов, многократно усиливающейся под влиянием хозяйственной деятельности человека и его разума. Человек в ходе хозяйственной деятельности разрабатывает и использует для своих нужд большое количество веществ земной коры, в том числе таких, как уголь, газ,

нефть, торф, сланцы, многие руды. Одновременно происходит антропогенное поступление в биосферу чужеродных веществ в количествах, превышающих допустимое значение. Это привело к кризисному противостоянию человека и природы. Главной причиной надвигающегося экологического кризиса считается технократическая концепция, рассматривающая биосферу, с одной стороны, как источник физических ресурсов, с другой – как сточную трубу для удаления отходов.

В настоящее время мировое хозяйство ежегодно выбрасывает в атмосферу:

- более 250 млн т мелкодисперсных аэрозолей;
- 200 млн т оксида углерода;
- 150 млн т диоксида серы;
- 120 млн т золы;
- более 50 млн т углеводородов;
- 2,5 млрд т (!) оксидов азота.

Естественный круговорот атомов в атмосфере просто не успевает за техногенными выбросами. Только за счет сжигания угля в энергетических установках в окружающую среду поступает мышьяка, урана, кадмия, бериллия в десятки раз, а ртути – в тысячи раз больше, чем вовлекается в природный биохимический круговорот.

В.И. Вернадский разделял 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.

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 (*Vibrio cholerae*) – 1,25;
- инфузория (*Lekconhrys patula*) – 10,6 (максимум);
- диатомовые (*Nittschia putrida*) – 16,8 (максимум);
- зеленый планктон – 166–183 (среднее);
- насекомые (*Musca domestica*) – 366;
- рыбы (*Pleurettes platessa*) – 2159 (максимум);
- цветковые растения (*Trifolium repens*) – 4076;

птицы (куры) – 5600–6100;
млекопитающие: крысы – 2800;
дикая свинья – 37 600;
слон индийский – 376 000.

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 (дезоксирибонуклеиновой кислоты) или РНК (рибонуклеиновой кислоты), составляющей сердцевину вируса. Иногда вирусы выделяют в особое царство живой природы – *Vira*. Они могут размножаться только внутри определенных живых клеток. Вирусы повсеместно развиты в природе и являются опасным противником всего живого. Поселяясь в клетках живых организмов, они вызывают их смерть. Описано около 500 вирусов, поражающих теплокровных позвоночных, и около 300 вирусов, нападающих на высшие растения. Более половины болезней человека обязаны своим развитием мельчайшим вирусам (они в 100 раз мельче бактерий). Достаточно назвать несколько страшных болезней, вызываемых вирусами, чтобы осознать угрозу этих существ: полиомиелит, оспа, грипп, инфекционный гепатит, желтая лихорадка и др.

Клеточные формы жизни представлены прокариотами (организмами, не имеющими ограниченного мембраной ядра) и эукариотами (организмами, клетки которых содержат оформленные ядра). К прокариотам относятся различные бактерии. Эукариоты – все высшие животные и растения, а также одноклеточные и многоклеточные водоросли, грибы и простейшие.

7.4. Проблема сохранения биологического разнообразия планеты

Каждая форма жизни является уникальной, заслуживающей уважения, вне зависимости от ее ценности для человека.

Мировая хартия охраны природы ООН

Многие экологи считают, что несмотря на повсеместное употребление термина «биологическое разнообразие», как понятие оно не сформировалось до сих пор. Отчего так происходит? Прежде всего оттого, что современные возможнос-

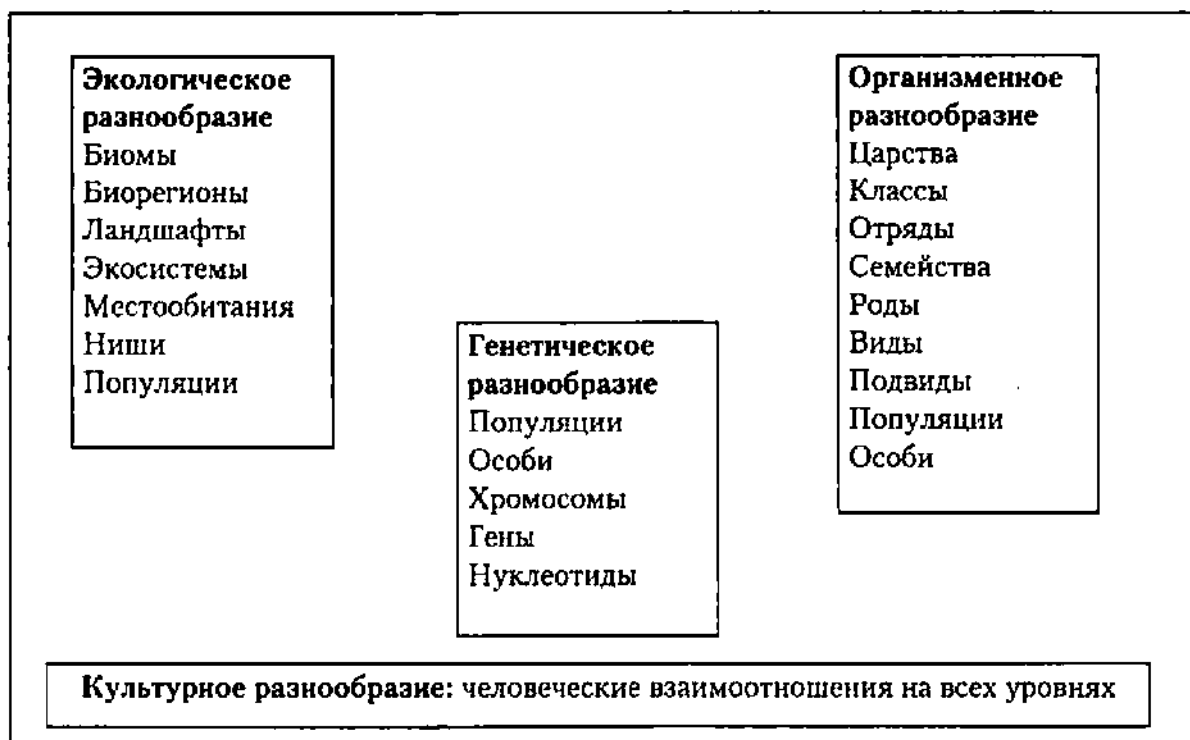


Рис. 7.2. Структура и уровни биоразнообразия

ти биосферы еще не известны. Следовательно, не известно и общее количество видов в биосфере до сих пор, и, значит, неизвестен ее потенциал. В связи с этим в настоящее время имеется несколько точек зрения на сущность биологического разнообразия.

Наиболее распространен взгляд на биоразнообразие как на совокупность видового богатства живых организмов. Согласно этому, **биологическое разнообразие** включает в себя прежде всего все существующие на Земле виды растений, животных и микроорганизмов. Оно также охватывает и всю совокупность природных экосистем, которые состоят из этих видов. Таким образом, под биоразнообразием можно понимать разнообразие организмов и их природных сочетаний.

Однако многие экологи считают, что в общую структуру биоразнообразия следует включать не только организменное разнообразие, но и экологическое, генетическое и отчасти культурное разнообразие (рис. 7.2).

Поэтому нередко под биоразнообразием подразумевается изменчивость экосистем всех живых организмов, включая земные, морские и другие водные экосистемы. В этом случае оно включает разнообразие в рамках одного вида (генетическое разнообразие), между разными видами (видовое разнообразие) и экосистемами (экосистемное разнообразие).

Следует отметить, что биологическое разнообразие может быть представлено и как фундаментальная часть живого покрова, и как ресурс, наряду с пространством, временем и энергией. Это представление о разнообразии основано на структурной иерархии.

Существует три основных типа биоразнообразия:

- генетическое разнообразие, отражающее внутривидовое разнообразие и обусловленное изменчивостью особей;

- видовое разнообразие, отражающее разнообразие живых организмов (растений, животных, грибов и микроорганизмов). В настоящее время описано около 1,5–2,0 млн видов, хотя их общее число, по некоторым оценкам, составляет до 50 млн;

- разнообразие экосистем охватывает различия между типами экосистем, разнообразие сред обитания и экологических процессов. Отмечают разнообразие экосистем не только по структурным и функциональным составляющим, но и по масштабу – от биоценоза до биосферы.

Все типы биологического разнообразия взаимосвязаны между собой: генетическое разнообразие обеспечивает разнообразие видов. Разнообразие экосистем и ландшафтов создает условия для образования новых видов. Повышение видового разнообразия увеличивает общий генетический потенциал живых организмов биосферы. Каждый вид вносит свой вклад в разнообразие – с этой точки зрения не существует бесполезных и вредных видов.

В соответствии с Конвенцией 1992 г. о биологическом разнообразии, участниками которой по состоянию на 14 августа 2001 г. являются 181 государство, правительства обязались сохранять биологическое разнообразие, использовать его компоненты на устойчивой основе и равноправно делиться выгодами, вытекающими из использования генетических ресурсов. Несмотря на это, биологическое разнообразие планеты необратимо утрачивается со скоростью, вызывающей тревогу, в результате крупномасштабной деятельности по сведению и выжиганию лесов; хищнических масштабов заготовки растений; неизбирательного применения пестицидов и других стойких ядохимикатов; осушения и засыпки болот; уничтожения коралловых рифов и мангровых зарослей; применения грабительских методов рыболовства; изменения климата; загрязнения воды; превращения нетронутых природных зон в сельскохозяйственные угодья и городские массивы.

В малайзийской столице в феврале 2004 г. под эгидой ООН состоялась седьмая конференция участников Конвенции по биологическому разнообразию. В ней приняли участие более 2 тыс. представителей свыше 180 стран мира. Участники конференции обсуждали вопросы защиты окружающей среды и исчезающих видов, изучали возможность создания специальной сети, которая помогла бы населению развивающихся стран защитить свое наследие.

Тема международного форума напрямую затрагивала будущее каждого. *«Выживание человека как биологического вида зависит от биологического разнообразия, – заявил исполнительный секретарь Конвенции по биологическому разнообразию Хамдалла Зедан. – Без него не будет ни производящих кислород деревьев, ни удерживания воды, ни биологического разложения, так что органические отходы станут просто накапливаться».*

После 2000 г., как заявил на форуме генеральный директор Программы ООН по окружающей среде Клаус Топфер, на планете ежегодно исчезает около 60 тыс. биологических видов, и это число неуклонно растет.

Биоразнообразие 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 1,5 млн (рис. 7.3).

Число известных видов живых организмов колеблется по подсчетам разных ученых и научных организаций. В качестве примера можно привести количество описанных видов живых организмов по данным специалистов ЮНЕП – программы ООН по окружающей человека среде (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Расчетное количество описанных видов на 2000 г.

Царство	Описание вида
Бактерии	4000
Водоросли и простейшие	80 000
Животные (позвоночные)	52 000
Животные (беспозвоночные)	1 272 000
Грибы	72 000
Растения	270 000
Всего описанных видов	1 750 000
Возможное количество, включая неизвестные виды	14 000 000

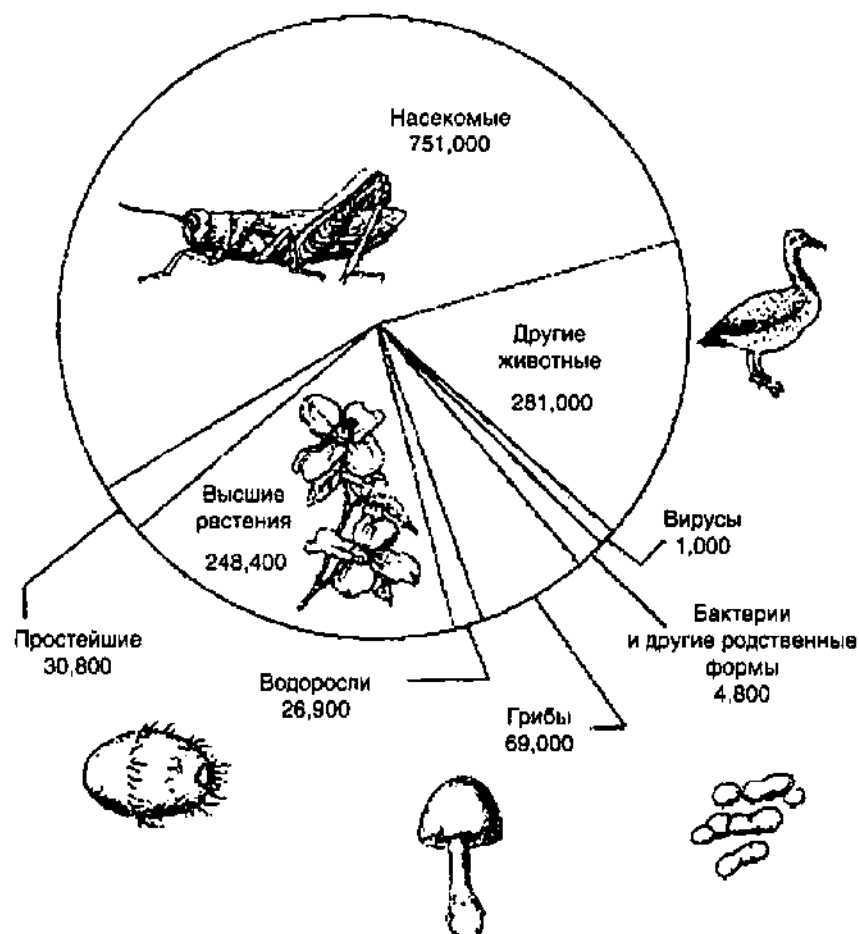


Рис. 7.3. Число живущих видов (всего 1 413 000) всех классов организмов, известных к настоящему времени (в соответствии с основными группами)

В 1982 г. была опубликована наделавшая много шума статья американского исследователя Т. Эрвина, утверждавшего, что в тропических лесах может обитать более 30 млн видов членистоногих, главным образом насекомых. Основанием для такого смелого вывода стала проведенная им оценка числа видов насекомых, специфически связанных только с одним видом деревьев из семейства бобовых (*Luehea seemannii*) в тропическом лесу Панама. Используя окуливание инсектицидом крон деревьев и собрав всех упавших членистоногих на растянутую внизу полиэтиленовую пленку, Эрвин подсчитал общее число видов жуков (из которых многие, как он полагал, неизвестны науке) и пришел к выводу, что дерево служит кормовым растением всего для 136 из них. Приняв ряд допущений, он рассчитал также, что число видов всех членистоногих, связанных с одним видом деревьев (включая тех, что живут на земле) достигает 600, а так как древесных видов в тропиках около 50 тыс., то простое перемножение давало 30 млн; вместе с уже известными науке (около 1 млн) это составляло 31 млн. Некоторые энтомологи отнеслись к расчетам Эрвина весьма скептически: приняв его логику, следовало ожидать, что большинство насекомых, находимых исследователями в тропиках, должны относиться к новым, еще не известным науке, видам, на самом же деле таковые встречаются не столь уж часто.

Эту гипотезу проверил чешский ученый В. Новотный (Институт энтомологии Чешской академии наук) совместно с коллегами из США, Панама, Швеции и Чехии.

Обследуя в течение нескольких лет участок низменного тропического дождевого леса в Новой Гвинее, ученые собирали насекомых с листьев 51 вида растений, в том числе с 13 видов рода *Ficus* и 4 – рода *Psychotria*. Всего было собрано более 50 тыс. насекомых, относящихся к 935 видам, среди которых преобладали жуки, гусеницы бабочек (чешуекрылых) и прямокрылые. Кроме того, исследователи выращивали гусениц на разных растениях, стараясь довести их до куколки.

Анализ всего этого обширного материала показал, что в расчете на один кормовой вид приходится 7,9 вида жуков, 13,3 – бабочек и 2,9 – прямокрылых. Таким образом, представление о чрезвычайной распространенности в тропиках стенофагии оказывается не более чем мифом. Новотный и его коллеги рассчитали также, сколько видов насекомых может быть связано с кормовыми растениями на уровне родов, а затем, исходя из полученных данных, вычислили общее число видов членистоногих: их оказалось около 4,9 млн, но не 31 млн, как предполагал Эрвин.

Разнообразие доминирует среди насекомых и высших растений из живущих видов всех организмов, зарегистрированных к настоящему времени, но обширные множества видов среди бактерий, грибов и других малоизученных групп остаются неоткрытыми. Общее количество организмов всех жизненных форм колеблется между 10 и 100 млн видов (по Wilson, 1992).

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. Между тем в настоящее время насчитывается около 65 тыс. видов грибов. 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 естественные, 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. Ежедневно исчезает от 1 до 10 видов животных и еженедельно – 1 вид растений. Гибель одного вида растений ведет к уничтожению примерно 30 видов мелких животных (прежде всего насекомых и круглых червей – нематод), связанных с ним в процессе питания. 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 (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Сокращение видового разнообразия Земли после 1600 г.

Компоненты биосферы	Исчезло		Под угрозой исчезновения	
	видов	проценты от общего числа видов	видов	проценты от общего числа видов
Высшие растения	384	0,15	18 699	7,4
Рыбы	23	0,12	320	1,6
Амфибии	2	0,05	48	1,1
Рептилии	21	0,33	1355	21,5
Птицы	113	1,23	924	10,0
Млекопитающие	83	1,99	414	10,0

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 ненужным, в будущем может оказаться не только полезным, но и, быть может, спасительным для человечества.

Пример тому – открытие одного ценнейшего лекарства. Кто бы мог подумать, что неприметная, да и в какой-то мере вроде бы и вредная, грибная плесень из рода *Penicillium* окажется исключительно важной для рода человеческого. А ведь

именно она послужила первоосновой для создания Александром Флемингом лекарства пенициллина, которое спасло миллионы человеческих жизней. Многие виды животных, например броненосец и белый медведь, неожиданно также оказались полезными для научных исследований как объекты экспериментов и ключ к техническим новшествам. 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 исследователям ключ к созданию материалов для изготовления более совершенной одежды, удерживающей тепло, и коллекторов солнечной энергии.

Биологическое разнообразие в условиях усиления 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.

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 разнообраз-

ные популяции диких животных, чем в лесонасаждениях столетней давности. В наибольшей степени исчезновение диких видов растений и животных связано с уничтожением тропических лесов. Примеров здесь множество. Так, ареал оранжевой жабы (*Bufo periglenes*) – вершина одной-единственной горы в Коста-Рике. Лес на этой территории может быть уничтожен всего за несколько часов. Вслед за исчезновением растительности оранжевой жабе и подобным эндемикам (виды с крайне узким ареалом, ограниченные в своем распространении отдельной областью или страной) придет конец.

Еще один пример касается миниатюрного филиппинского долгопята – одного из самых маленьких представителей отряда приматов. Он обитает на острове Бохоль. В настоящее время популяции филиппинских долгопят угрожает исчезновение из-за непрекращающейся вырубки лесов на островах филиппинского архипелага.

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, малопригодных 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.

7.5. Учение В.И. Вернадского о ноосфере

С появлением на нашей планете одаренного разумом живого существа планета переходит в новую стадию своей истории. Биосфера переходит в ноосферу.

В.И. Вернадский

В 20-е гг. XX в. В.И. Вернадский работал над проблемой химического строения биосферы Земли. Эволюция биосферы связывалась им с эволюцией жизни на нашей планете. 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 Земли и пришел к необходимости анализа роли человека разумного во всем этом процессе. В результате родилось научное направление, которое получило название *учение 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, ненаправляемое развитие деятельности людей таит в себе опасности, которые трудно предвидеть. Именно поэтому неизбежно настанет время, когда дальнейшая эволюция планеты, а следовательно, и человеческого общества должны будут 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. Он смело и бездумно покорял природу.

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?

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 продолжаются 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 революции 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 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 позапрошлом веке крупными представителями философии, науки и культуры. Упоминаемый нами ранее Ж.Б. Ламарк 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. Идеи В.И. Вернадского многим пришлись по душе. Именно эти лекции и стали толчком к разработке французским математиком Эдуардом Леруа концепции о ноосфере. В 1927–1928 гг. он выступил со своим пониманием сферы разума в высокоинтеллектуальном заведении Парижа «Коллеж де Франс», где впервые употребил термин «ноосфера» (от греч. *noos* – разум). Своим соавтором он назвал друга и единомышленника Пьера Тейяр де Шардена. Шарден, будучи ученым-геологом и палеонтологом, в своих работах сочетал христианское мировоззрение с научными обобщениями. Духовное объединение человечества – вот движущая сила ноосферы. Но ноосфера не завершение, а лишь ступень в развитии планеты. Любовь к Богу и порожденная ею любовь к людям и всему сущему приведут к новому этапу эволюции ноосферы, когда совершится ее вхождение в мир Божественного совершенства. Эту фазу мировой эволюции Шарден называл «точкой Омега».

Таким образом, духовным предтечей идеи ноосферы стал русский ученый В.И. Вернадский, в дальнейшей ее разработке принимали участие вышеупомянутые французские ученые. С тех пор новое учение стали называть **учением о ноосфере**.

Позже эта идея привлекла внимание 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 весь 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.

Первое, что отметил Вернадский, – это повсеместное внедрение человека (с его преобразующей природу деятельностью) в биосферу: «В XX в. впервые в истории Земли человек узнал и охватил всю биосферу, закончил географическую карту планеты Земля, расселился по всей ее поверхности... Нет ни одного клочка земли, где бы человек не мог прожить, если бы это было ему нужно». Поэтому ноосфера может рассматриваться как новое явление на нашей планете. «Человек... становится могучей геологической силой, все растущей». Эта сила складывалась на протяжении веков, подчас незаметно для самого человека. К постепенным длительно формирующимся изменениям в положении человечества на планете добавились и перемены относительно резкие, связанные с небывалым подъемом развития науки и техники.

Ученый приходит к выводу, что основа и постепенных, и резких изменений – человеческий разум: «Появление разума и наиболее точного его выявления – организации науки – есть первостепенный факт в истории планеты, может быть, по глубине изменений превышающий все нам известное, раньше выявлявшееся в биосфере». И далее: «...Созданные невесомые ценности – научная мысль и научное открытие – в дальнейшем меняют... ход процессов биосферы, окружающей нас природы».

Ноосфера, по 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».*

ние 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». 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, как уже отмечалось, экологические проблемы возникали тогда, когда человек начинал активно вмешиваться в жизнь природы, навязывая искусственные элементы. Это, например, 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 задача, решить которую на основе тривиальных, устоявшихся представлений о природной среде оказалось не так-то просто. Природа Земли фактически постоянно изменялась разными темпами (и изменилась), а законы природы, открытые Коперником, Кеплером, Галилеем, Ньютоном, остались прежними и действуют вне воли человека. Запуски космических кораблей происходят точно с представлениями о законах природы, однако эти полеты реализуют новый тип связи человека и природы и формируют новые свойства цивилизации.

Человек неразрывно связан со средой, в которой он живет. «Человек есть определенная функция биосферы в определенном ее пространстве–времени». Именно поэтому ноосфера не есть что-то искусственное, чуждое истории планеты. Ноосфера – это результат развития биосферы, «последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории». «Создание ноосферы из биосферы есть природное явление,

более глубокое и мощное в своей основе, чем человеческая история». «Это новая стадия в истории планеты, которая не позволяет пользоваться для сравнения, без поправок, ее историческим прошлым. Ибо эта стадия создает по существу новое в истории Земли, а не только в истории человечества». Итак, ноосфера – это современный этап развития биосферы, который сформировался в результате созидательной деятельности человечества, изменяющей и биосферу, и весь ход геологической истории планеты Земля.

Наконец, на стадии ноосферы человек осознает, что он, будучи отдельной личностью, не отделим от всего человечества. «Человечество своей жизнью стало единым целым». Но человечество – плод развития биосферы, а биосфера – результат развития планеты. Отсюда – люди должны действовать в интересах всей планеты. «Человек впервые реально понял, что он житель планеты и может – должен – мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но и в планетном аспекте». И, быть может, самое главное (на наш взгляд): *«В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление».*

Что же касается времени окончательного формирования этой стадии развития планеты, то однозначного ответа ученый не дал. Он говорил и о приближении к ноосфере, и о том, что «ноосфера... состояние наших дней», а расцвет творческих возможностей человечества придется на поколение его внуки, т.е. современный нам период. Такое понимание, по-видимому, естественно, если учесть психологию людей эпохи начала научно-технической революции, их энтузиазм и творческий порыв, когда казалось, что человеку все подвластно.

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 про-

цесса, 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.

7.6. Техносфера

Цивилизация – это бесконечное накопление ненужных вещей.

Марк Твен

Вопрос о разнокачественности живого и неживого тесно связан с вопросом об эволюции биосферы. Постоянен или не постоянен 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.

Ученый 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 над тем, что научно-технический процесс породил особую сферу, в которой главенствует техника, для нас настолько привычная, что мы ее просто не замечаем. Если мы не можем воспользоваться телефоном или проехать в троллейбусе, метро или автобусе, это вызывает не более чем раздражение. А вот 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 люди редко задаются 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. Также и продукция техногенеза примерно соответствует или в несколько раз превышает биопroduкцию 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 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 данной системе человеческого разума, то техносфера – 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 становятся холмиками, холмами, возвышениями на поверхности Земли. Одичавшая собака или кошка становятся опасными дикими зверями. В конечном итоге природа возвращает себе то, что отнято у нее человеком, хотя необратимые процессы и расширяются.

Человек воздействует на природные биоценозы посредством орудий труда, созданных еще во времена его исторического детства. С помощью техники, накапливающейся тысячелетиями, он изменяет до неузнаваемости свое природное окружение.

На развитие биосферы, ее изменение и трансформацию оказывают воздействие, во-первых, природные факторы и процессы, во-вторых, техногенные социально-экономические факторы. Последняя группа факторов – техногенная деятельность человека – в настоящее время особенно разрушительно воздействует на биосферу. С техногенной деятельностью связаны:

- поступление в биосферу тысяч и миллионов тонн технофильного вещества в виде отходов промышленного производства, транспорта, сжигаемого топлива 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.

Казалось бы, совершенствование технических приемов, технологических методов и самой техники позволит найти выход из сложившейся ситуации. Но оказывается это не всегда возможно. 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, например, электромобиль – экологически чистое транспортное средство. Может ли он повсеместно заменить обычный современный автомобиль? Теоретически – может, практически – нет. 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.

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 раз-

мерах, 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.

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.

7.7. Современные проблемы биосферы

Как показывает весь опыт человечества, технология, оставаясь надеждой, служит основой и причиной всех современных экологических проблем.

В.И. Данилов-Данильян

Перестройка биосферы и грядущее становление ноосферы ставят 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 эти проблемы отличаются универсальностью и актуальностью для всех государств. Для аборигенов, проживающих на островах атолла Муруроа, где испытывалось атомное оружие, так же, как и для жителей других высоко развитых 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, вероисповедания, 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 можно лишь при условии компромисса с природой, с природным окружением. Человек будет вынужден либо «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 выберет второй вариант.

Основные проблемы современной биосферы так или иначе связаны с техногенной деятельностью человека (рис. 7.4). Эволюция человека как биологического вида и человечества в целом привела к изменению естественного биогеохимического круговорота и перераспределению энергии на планете. Можно с уверенностью сказать, что все глобальные проблемы современности прямо или косвенно замыкаются на использовании природных ресурсов Земли.

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

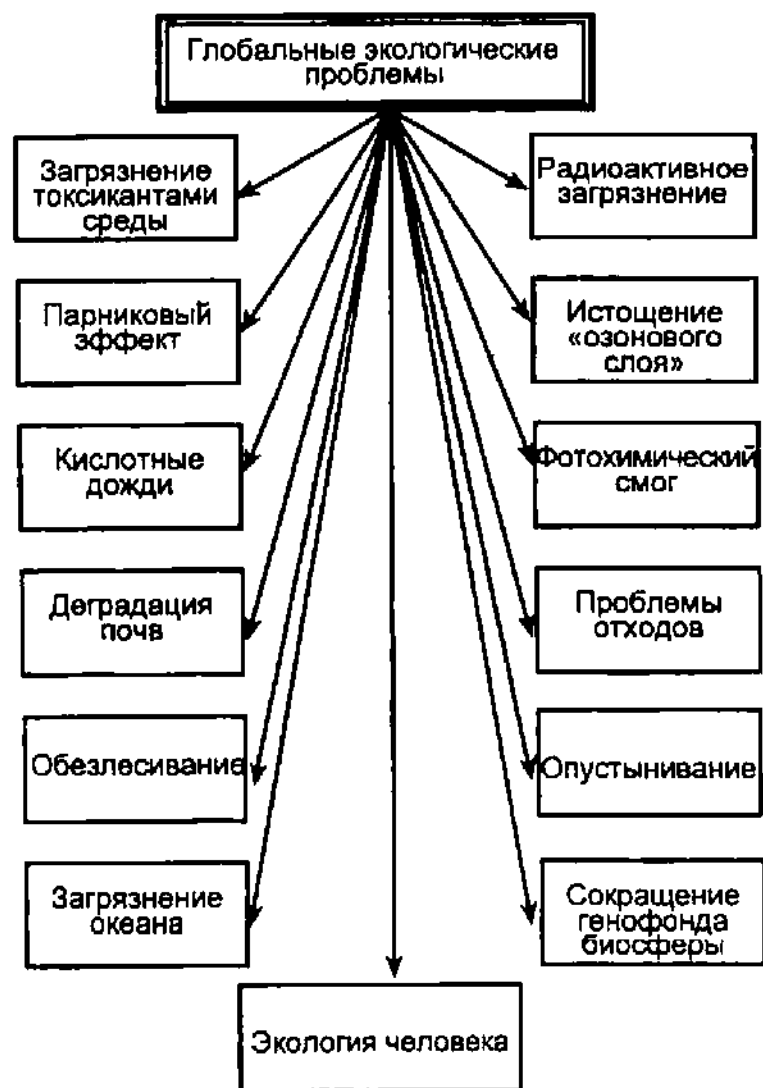


Рис. 7.4. Глобальные экологические проблемы биосферы

800 млн т различных металлов, вносится в почвы свыше 500 млн т минеральных удобрений, около 3 млн т различных ядохимикатов, из которых $1/3$ 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 табл. 7.3 характеризуются основные группы таких препаратов.

Таблица 7.3. 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
Гермициды	Препараты, применяемые для уничтожения всех видов 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

1	2
Имагоциды	Препараты для централизованного уничтожения взрослой фазы насекомых или клещей (имаго)
Инсектициды	Собираательный термин, объединяющий химические и микробиологические препараты для борьбы с вредными насекомыми
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 роста	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/м² 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 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 сильные яды, которые имеются на вооружении у человека. Это тем более актуально, так как 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. Например, 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 гг. в XX в. 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 разруши-

тельный для естественных экосистем характер. Количество потребляемых ядохимикатов можно сократить без ущерба для урожая, поскольку 60–90 % химикатов, 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 планете, и он 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.

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 они играют особую роль из-за особенностей строения их атомов, а именно из-за способности 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 эта 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 (продовольственной и сельскохозяйственной организации 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 весь период истории 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 3 раза превышает его количество в атмосфере. После вырубki 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 см 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 потреб-

ности 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 г. 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.

7.8. Проблема численности населения планеты

Через пятьсот лет на Земле останутся только стоячие места.

Вернер фон Браун

Одна из самых острых проблем современности – проблема народонаселения. Современный этап развития человечества характеризуется ускоренным ростом числа людей на планете.

Десять тысяч лет назад на Земле было 10 млн людей, к началу нашей эры их стало 200 млн, в начале XI в. на Земле проживало 310 млн человек, к 1650 г. – 500 млн, к XIX в. – 1 млрд, в начале XX в. – 2 млрд человек.

12 октября 1999 г. родился 6-миллиардный житель. 26 февраля 2006 г. население Земли достигло очередной рекордной цифры – 6,5 млрд человек, и их численность увеличивается на 2% в год. Чтобы достигнуть первого миллиарда, человечеству понадобилось более 1 млн лет. Второй миллиард был достигнут за 100 лет, третий – за 40, четвертый – за 15, пятый – за 10, а рубеж шестого миллиарда человечество достигло к концу второго тысячелетия.

Эксперты отмечают, что в последние годы темп прироста населения Земли резко вырос. Так, всего за 12 лет количество землян увеличилось на 1 млрд. Для сравнения: всего, по подсчетам ученых, на планете за всю историю существования людей их родилось 106 млрд. В наши дни каждую секунду на свет появляются в среднем 4,4 человека (умирают – 1,8), каждую минуту – 261.

Прогнозы демографов гласят, что в 2012 г. на Земле будет жить 7 млрд, а к 2050 г. население планеты, возможно, увеличится до 9 млрд человек.

Тревожной тенденцией, по мнению специалистов, является то, что численность населения главным образом увеличивается в тех странах, которые в наименьшей степени могут себе это позволить, в частности в Китае и Индии. Ожидается, что в Индии в 2050 г. будет проживать 1,6 млрд человек – примерно на 160 млн больше, чем в КНР. Быстрыми темпами будет расти население в Африке, на Ближнем Востоке и США.

Рост населения Земли в середине XX в. приобрел стремительные темпы и получил название «демографического взрыва» (рис. 7.5). Анализ современной ситуации распределения населения на земном шаре позволил выявить несколько закономерностей.

1. Прирост населения распределен чрезвычайно неравномерно. Он максимален в развивающихся странах и минимален в развитых странах Европы и Америки.

Например, в Кении (государстве в Восточной Африке) проживает 24 млн человек. Это бывшая британская колония, которая получила независимость в 1963 г. Как и многие молодые независимые африканские государства, Кения – бедная страна, борющаяся за развитие и улучшение условий жизни. Препятствия на этом пути – устрашающие. Темпы роста населения Кении – около 4% в год – более высокие, чем в любой другой стране мира. Более половины населения составляют дети в возрасте до 15 лет. Высокая детская смертность, широко распространенная неграмотность и средняя продолжительность жизни – всего 54 года. Валовой национальный продукт в расчете на душу населения составляет 3000 долларов. Большинство кенийцев живет в сельских районах и добывает средства к существованию земледелием; основными статьями экспорта страны являются кофе и чай, основной продовольственной культурой – маис (кукуруза).

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 %.

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,

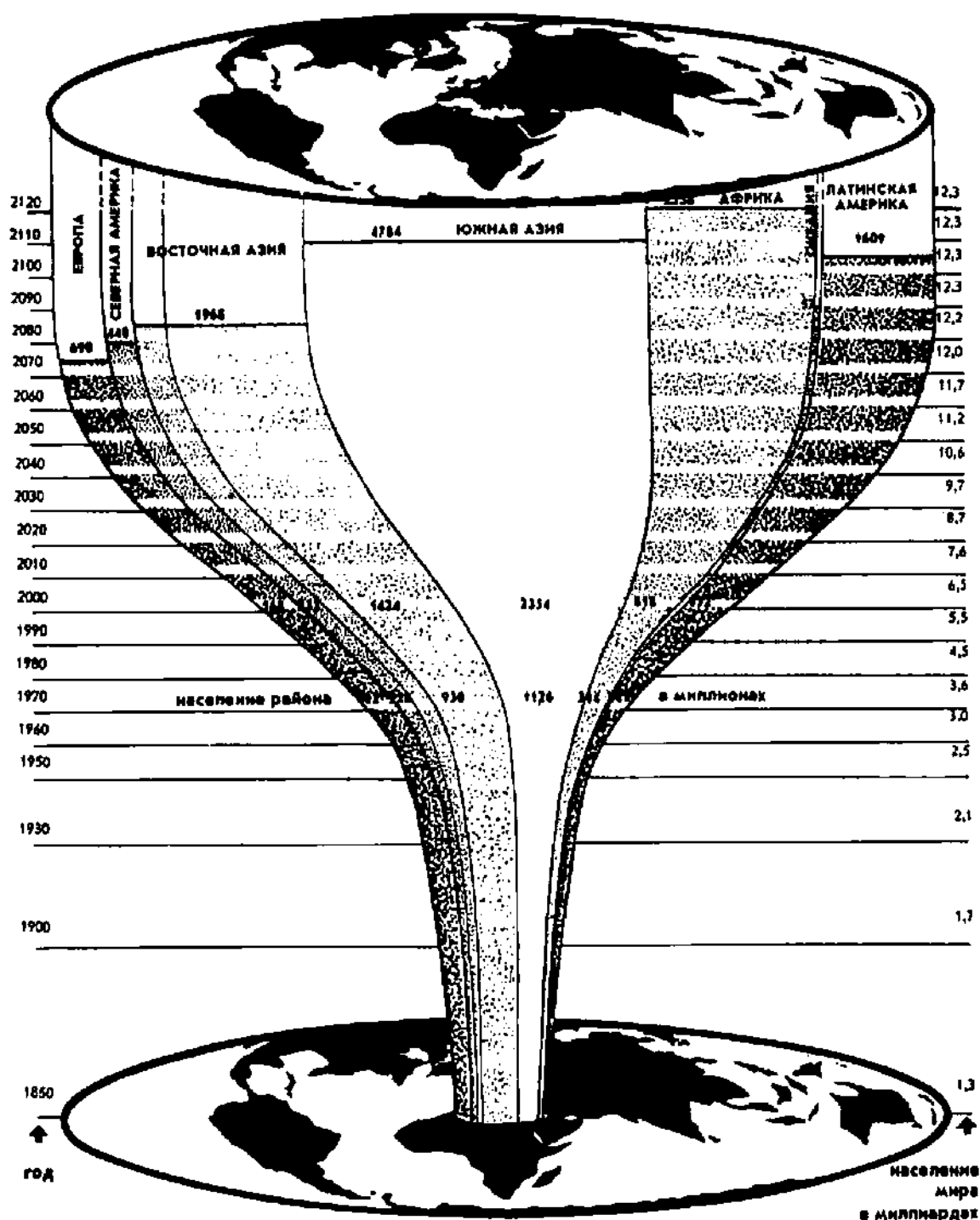


Рис. 7.5. Демографический рост населения планеты

тогда как 15-летние – 48 %. В Италии, как и в других западных странах, повзросление 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!

Граждане Японии в 2004 г. в очередной раз установили рекорд по продолжительности жизни. Выяснилось, что по сравнению с 2003 г. средний возраст мужчин и женщин в Стране восходящего солнца увеличился на 0,26 и 0,28 лет соответственно. Теперь средняя продолжительность жизни у японок достигает 85,59 лет. А среднестатистический японец доживает до 78,64 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.

Быстрый рост населения в развивающихся странах резко обостряет экологические и социальные проблемы. Число жителей развивающихся стран составляет 3/4 населения планеты, а потребляет всего 1/3 общемировой продукции, причем разрыв в потреблении на душу населения продолжает расти. Большие цифры – миллиарды и миллионы – трудны для восприятия. Поэтому одно популярное американское издание опубликовало следующие расчеты. Если бы все население Земли «сжать» до размеров деревушки с населением в 100 человек, а все существующие соотношения современного человечества остались бы прежними, то получилась бы следующая картина:

- в ней проживало бы 57 азиатов, 21 европеец, 14 представителей Северной, Центральной и Южной Америки, 8 африканцев;
- 70 из 100 человек были бы «цветными»;
- 50 % всех богатств оказалось бы в руках 6 человек, и все они были бы гражданами США;
- 70 человек не умели бы читать;
- 50 человек страдали бы от недоедания;
- 80 человек жили бы в жилищах, для проживания не приспособленных;
- только 1 человек имел бы университетское образование.

В докладе, составленном в 1998 г. Институтом наблюдения за миром, приводится прогноз роста народонаселения на ближайшие 50 лет в различных странах (табл. 7.4). По мнению авторов доклада, в 2050 г. наиболее населенной страной станет Индия, опередив лидирующий в последнее тысячелетие Ки-

**Таблица 7.4. Наиболее населенные страны в 1998 г.
с прогнозом на 2050 г.**

1998 г.			2050 г.	
Место	Страна	Население, млн чел.	Страна	Население, млн чел.
1	Китай	1255	Индия	1533
2	Индия	976	Китай	1517
3	США	274	Пакистан	357
4	Индонезия	207	США	348
5	Бразилия	165	Нигерия	399
6	Россия	148	Индонезия	318
7	Пакистан	147	Бразилия	243
8	Япония	126	Бангладеш	218
9	Бангладеш	124	Эфиопия	213
10	Нигерия	122	Иран	170
11	Мексика	96	Конго	165
12	Германия	82	Мексика	154
13	Вьетнам	78	Филиппины	131
14	Иран	73	Вьетнам	130
15	Филиппины	72	Египет	115
16	Египет	66	Россия	114
17	Турция	64	Япония	110
18	Таиланд	62	Турция	98
19	Франция	60	ЮАР	91
20	Эфиопия	59	Таиланд	89

тай. Прирост населения в развитых странах будет умеренным, а в Германии и Японии его численность даже уменьшится. Аналогичная тенденция будет наблюдаться и в России в связи с экономическими трудностями. Вперед же вырвутся некоторые страны третьего мира, население которых уже сейчас увеличивается с угрожающей быстротой. Наибольшая динамика роста – в 3–4 раза – ожидается в некоторых африканских странах. Предполагается, что пятое место в 2050 г. займет Нигерия (339 млн), девятое – Эфиопия (213 млн), а на одиннадцатом окажется Конго (165 млн).

По данным на 2005 г.:

■ в Китае проживало 1 млрд 289 млн человек, или 21 % мирового населения;

■ Индии – 1 млрд 069 млн человек, или 17 % мирового населения;

■ США – 293 млн человек, или 5 % мирового населения;

- Индонезии – 220 млн человек;
- Бразилии – 176 млн человек;
- Пакистане – 149 млн человек;
- Бангладеш – 147 млн человек;
- России – 146 млн человек;
- Нигерии – 134 млн человек;
- Японии – 128 млн человек.

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 гг. XX в. до 3,7.

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 составлять 5–10 млн человек. 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. Первый связан с освоением охоты на крупных животных и расселением охотников в конце плейстоцена. Второй произошел около 10 тыс. лет назад, после открытия земледелия, когда численность людей увеличилась в 20–30 раз. И всего несколько столетий назад, после начавшейся промышленной революции, начался третий период, продолжающийся до нашего времени.

В начале эпохи неолита (6–7 тыс. лет до н. э.) на Земле жило не более 10 млн человек. К началу новой эры – не более 25 млн. Понадобилось 1,5 тысячелетия, чтобы численность населения увеличилась еще вдвое. Однако следующее удвоение произошло уже за два столетия, и к началу XIX в. число жите-

лей Земли приблизилось к 1 млрд. Новое удвоение заняло всего 120–130 лет. 2 млрд людей стало уже в 20-е гг. XX в., и всего лишь за последние 50 лет население мира удвоилось еще раз и превысило 4 млрд. В 1980 г. было 4,5 млрд человек.

В докладе, составленном Фондом народонаселения ООН за 1995 г., говорится, что в середине 1995 г. на земном шаре проживало 5,75 млрд человек. Эксперты ООН оценивают нынешний средний уровень прироста населения в мире существенно ниже ожидаемого: 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.

Приемлемой считается численность населения Земли 8 млрд человек к 2050 г., вместо ожидаемых 10 млрд человек. 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 другие, 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 умирало 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 возможностью большинства людей современности дожить до возраста, когда эти заболевания преимущественно проявляются.

7.9. Связь между загрязнением окружающей среды и здоровьем человека

*Я понимаю и не спорю,
Что человек с природой в ссоре,
И всем живым несет он горе,
Внушает страх,
Хоть все мы смертные и вскоре
Вернемся в прах.*

Роберт Бернс

Со временем развития темпов техногенеза в мире изменилось 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 гг. XX в., 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. Отсюда – болезнь.

Американские врачи, делавшие вскрытие солдат-десантников, погибших во время вьетнамской войны, установили у многих из них начальные признаки атеросклероза. А ведь известно, что в армию США, особенно в десант, идут хорошо тренированные, физически здоровые солдаты.

Таким образом, развитие общества и всеобъемлющее техногенное воздействие привели 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 гг. XX в. в ФРГ нашумела 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 сочетался с естественными биологическими функциями. Однако никто не мог предвидеть, что в процессе синтеза, в производственных условиях, наряду с левовращающимися сахарами нарабатывались правовращающиеся, что и явилось причиной патологии. Неправомерное вторжение человека в сокровенные тайны человеческого организма привели 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 мкг/м^3 в среднем за сутки или 100 мкг/м^3 в среднем за долгосрочный период. Для диоксида азота эти цифры составляют свыше $190\text{--}320 \text{ мкг/м}^3$ в течение 1 ч 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 загрязненной водой, можно объединить в пять групп.

Первая группа объединяет заболевания, возникающие при использовании зараженной воды для мытья посуды, продуктов, 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 ее 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 всего этого является слепота. Передается она 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 шистосоматоз и дракункулез. Шистосоматоз 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. Шистосоматозом 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.

7.10. Понятие и причины экологического кризиса

*Природа расправляется с былым
Как водится. Но лик ее при этом,
Пусть залитый закатным светом,
Невольно делается злым.*

Иосиф Бродский

В начале декабря 1930 г. в долине реки Маас в Бельгии выбросы предприятий добывающей промышленности привели к гибели 60 человек. Это была первая техногенная авария такого масштаба.

Хроника последующих происшествий и вовсе угрожающая. 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, получили острое отравление, 20 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 жиз-

ни более 4 тыс. человек. Эта катастрофа близка к эпидемии холеры 1866 г., когда умерло около 5 тыс. человек. Только на этот раз в роли холерной бациллы выступили промышленные дымы и сернистый газ.

Все эти случаи отравления 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 гг. XX в. 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 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. Особо следует рассматривать угрозы возникновения экологических катастроф в результате военных действий.

Примером экологической катастрофы, вызванной воинским конфликтом, являются события, которые происходили на территории Кувейта и близлежащих территорий Персидского залива после операции «Буря в пустыни» в начале 1991 г. Отступая из Кувейта, иракские оккупанты подорвали взрывчаткой свыше 500 нефтяных буровых скважин. Значительная их часть вспыхнула и горела на протяжении 6 месяцев, отравляя вредными газами и сажей большую территорию. Из буровых скважин, которые не воспламенились, нефть била фонтанами, образуя большие озера, и стекала в Персидский залив. Сюда же вылилось большое количество нефти из подорванных терминалов и танкеров. В результате нефтью было покрыто около 1554 км² поверхности моря, 450 км береговой полосы, где погибло большинство птиц, морских черепах, дюгоней и других животных. В огневых факелах ежедневно сгорало 7,3 млн л нефти, которая равняется объему нефти, ежедневно импортируемой США. Тучи сажи от пожаров поднимались

на высоту до 3 км и разносились ветрами далеко за границы Кувейта – черные дожди выпадали в Саудовской Аравии и Иране, черный снег – в Кашмире (за 2000 км от Кувейта). Загрязнение нефтяной сажой воздуха вредно влияло на здоровье людей, так как она содержала много канцерогенов. Эксперты установили, что эта катастрофа сопровождалась такими явлениями, как:

1) тепловое загрязнение (86 млн кВт ежедневно). Такое же количество тепла выделяется вследствие лесного пожара на площади 200 га;

2) сажа от горящей нефти – 12 000 т ежедневно;

3) CO_2 – 1,9 млн т ежедневно (это составляет 2 % всего углекислого газа, что выделяется в атмосферу Земли вследствие сжигания минерального топлива всеми странами мира);

4) SO_2 – 20 000 т ежедневно (что составляет 57 % его количества, которое ежедневно поступает из топок всех ТЭЦ США).

Утилитарный подход к окружающей среде без учета потенциальных нужд человечества в будущем поставил человека на грань экологического кризиса, грозящего общемировой экологической катастрофой.

Приведем 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, какой она была до 1973 г.

2. Предположим, что человечество располагает чем-либо, чего хватит на 1 млн 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 приходится 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 человека.

Общая экономическая нагрузка на экологические системы упрощенно зависит от трех факторов: *численности населения, среднего уровня потребления и широкого применения различных технологий*. Уменьшить степень ущерба, наносимого окружающей среде обществом потребителей, можно, изменив сельскохозяйственные 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 сотен 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. Теперь этого уже мало.

Вспомним сказку о золотой антилопе, где жадный правитель был заживо погребен под огромной горой золотых монет.

Он стал богатым! 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.

ГЛАВА 8

РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ

8.1. Общая характеристика природных ресурсов

Мы, Homo sapiens, научились использовать громадное количество природных ресурсов, от которых теперь зависим... В результате сложилась форма контролируемого существования, которую мы называем цивилизацией... Но, похоже, мы сами себя загнали в угол... Без непрерывного снабжения природными ресурсами цивилизованное общество непременно рухнет, а человеческая популяция зачахнет.

Брайн Скиннер

Нод общим понятием ресурсов подразумеваются любые источники и предпосылки получения необходимых людям материальных благ. Ресурсы можно определить также как необходимые (жизненно важные) для функционирования любой системы элементы внешней и внутренней среды, ограниченные количественно и определяющие возможности и особенности ее (системы) становления, существования и развития.

Существует множество различных классификаций ресурсов. Экологов в первую очередь интересуют ресурсы природные, т.е. вся совокупность естественных продуктов природы, используемых человеком для удовлетворения материальных

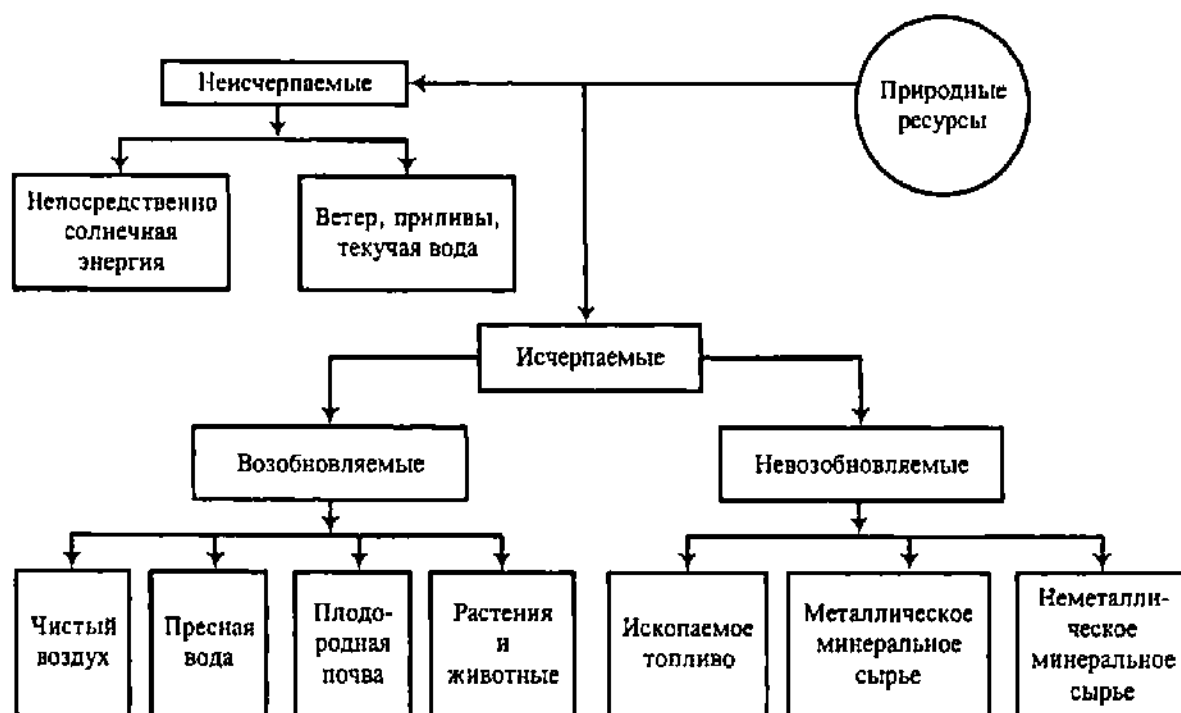


Рис. 8.1. Классификация природных ресурсов

и культурных потребностей общества. На рис. 8.1 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), и придерживаются закона ограниченности (исчерпаемости) природных ресурсов на Земле. Таким образом, группу неисчерпаемых ресурсов, 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 (возобновляемые) и исчерпаемые невосстанавливаемые (невозобновляемые).

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 возобновляемые 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 возобновляемые ресурсы. Это прежде всего почвы, частично вышедшие из сельскохозяйственного оборота в результате водной и ветровой эрозии либо радиоактивного загрязнения, лесные древостои, торф, используемый в качестве топлива. По истечении определенного промежутка времени (от сотен до нескольких тысяч лет) эти ресурсы можно будет снова использовать.

8.2. Атмосфера. Структура атмосферы

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 8–10 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 находится 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 рас-

полагается *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 – это 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 CO_2 . А то, что процентное отношение количества CO_2 в атмосфере увеличивается (главным образом из-за негативного антропогенного воздействия – чрезмерного сжигания органического топлива) – уже установленный факт.

Углекислый газ обладает большей плотностью, чем кислород или азот. Поэтому слой CO_2 плотно покрывает водный и почвенный покров Земли. Сам по себе углекислый газ является опасным компонентом атмосферы для всего живого. Зарегистрированное увеличение концентрации 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 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 обычно градуса на полтора выше средней температуры воздуха, что способствует интенсификации испарения из почвы влаги, пары которой проходят через данный слой с потоком теплого воздуха. Все это приводит к иссушению почвы и возникновению так называемого «эффекта пустыни». Такой эф-

фект 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. Компенсацией таких засух является чрезмерное увеличение осадков в других регионах.

Увеличение содержания 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. Например, 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. Поэтому неудивительно, что жители крупных городов (в особенности это относится к детям) часто страдают «беспричинной» утомляемостью.

В связи с угрозой углекислотного отравления необходим систематический контроль за содержанием CO_2 на планете. Единственный выход в создавшейся ситуации – широкое использование альтернативных источников энергии.

8.3. Парниковый эффект и глобальное потепление климата

Средняя температура Земли в настоящее время составляет около 15°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, привносит 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 $30\text{--}40^\circ\text{C}$. Существование живых организмов в таком случае было бы весьма проблематичным.

По мнению Межправительственной комиссии по изменению климата, «увеличение концентрации парниковых газов приведет к разогреву нижних слоев атмосферы и поверхности земли. Любое изменение в способности Земли отражать и поглощать тепло, в том числе вызванное увеличением содержания в атмосфере тепличных газов и аэрозолей, приведет к изменению температуры атмосферы и Мирового океана и нарушит устойчивые типы циркуляции и погоды».

Парниковый эффект – проблема не новая. Еще в 1827 г. французский ученый Ж. Фурье высказал предположение, что атмосфера Земли подогревает поверхность, пропуская к ней солнечное излучение с высокой энергией, но не давая выйти в космос части длинноволновой тепловой радиации, отражающейся от земной поверхности. Этот эффект вызывается несколькими парниковыми газами, в особенности диоксидом углерода и водяным паром. В конце XIX в. шведский ученый С. Аррениус пришел к выводу, что возрастание выбросов диоксида углерода предприятиями, возникшими в период промышленной революции, изменило содержание газов в атмосфере и что это может привести к росту приземной температуры. Исследования последних лет подтвердили, что парниковые газы временно удерживают тепло в нашей атмосфере, благодаря чему создается так называемый парниковый эффект (рис. 8.2). Но следует признать, что данный термин не

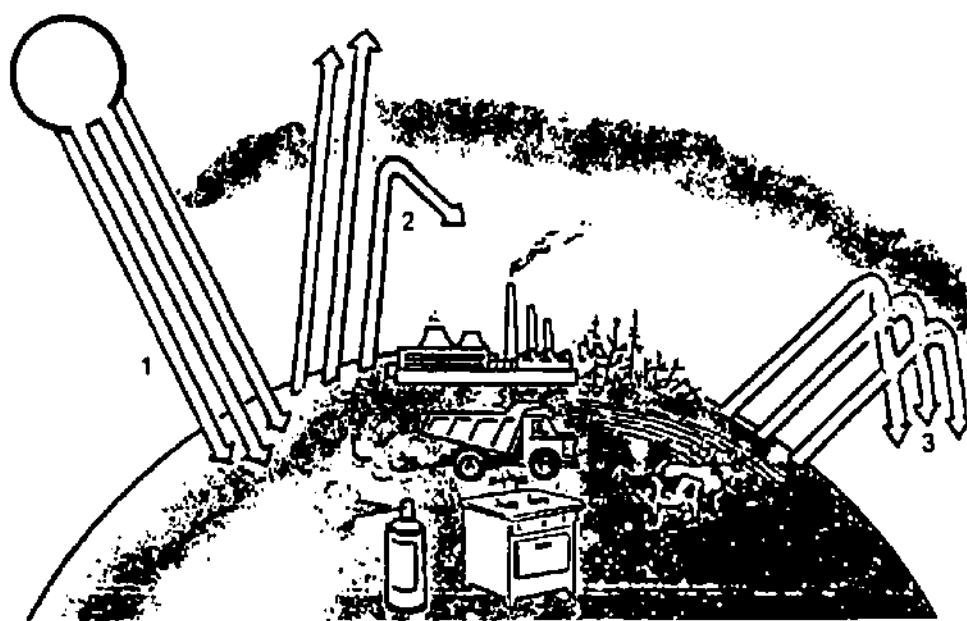


Рис. 8.2. Парниковый эффект:

1 – нагревание земной поверхности; 2 – отражение теплового излучения Земли вследствие загрязнения атмосферы

совсем правилен. Стекло парника действительно пропускает солнечный свет и задерживает инфракрасное излучение, но процесс этот происходит только благодаря рассеиванию 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 15–20 % и на долю метана – 18 %.

В глобальном масштабе содержащийся в воздухе углекислый газ играет ту же роль, что и стекло. Световая энергия проникает сквозь атмосферу, поглощается поверхностью Земли, преобразуется в ее тепловую энергию и выделяется в виде инфракрасного излучения. Однако углекислый газ и некоторые другие газы, в отличие от иных природных элементов атмосферы, его поглощают. При этом он нагревается и, в свою очередь, нагревает атмосферу в целом. Значит, чем больше в ней углекислого газа, тем больше инфракрасных лучей будет поглощено и тем теплее она станет.

В первой половине XX в. содержание углекислого газа в атмосфере приближалось к 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 в атмосфере углекислого газа – факт доказанный.

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 и др., а с другой – с ежегодным уменьшением площадей лесов на нашей планете, которые являются основными поглотителями углекислого газа. К тому же развитие таких отраслей сельского хозяйства, как рисоводство и животноводство, а также увеличение площадей городских свалок приводят к увеличению выделения метана, оксида азота и некоторых других газов. Следо-

вательно, если количество вещества, поглощающего в инфракрасной области (например, углекислого газа) растет, то земная поверхность поглощает больше энергии и ее температура увеличивается.

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.

Максимумы концентрации метана в атмосфере 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 Западной Сибири, а область повышенного образования протягивается через Северную Европу.

Таким образом, сегодня уже не остается сомнений, что тенденция 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).

За 100 лет температура в Северном полушарии выросла больше, чем за предыдущую тысячу лет. В крупных городах стало на 1,5 °C теплее, если не исключать «городской» эффект – даже на 3 °C. Мороз стал редкостью, весна приходит раньше.

Повышение температуры в результате парникового эффекта грозит небывалым экологическим, экономическим и со-

циальным 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 могут быть поглощены 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.

В самом уязвимом положении находятся Африка и Азия, переживающие демографический бум.

Из-за потепления придет в упадок сельское хозяйство, снизятся урожаи, начнется засуха, рост заболеваний. Австралия будет томиться от жажды. Восточное побережье США попадет в зону разрушительных штормов, которые повлекут за собой эрозию прибрежной полосы. Пустыни разрастутся, бури и наводнения станут чаще.

Ледовый покров Арктики сократится на 15 %. Лед на Антарктическом побережье отступит на 7–9 градусов. Подъем уровня Мирового океана вызовет колоссальные затопления и необходимость переселения до 1 млрд человек. О том, что это не просто слова, говорит следующий факт. В июле 2002 г. с маленького островного государства Тувалу (26 км², 11 тыс. человек) в Тихом океане раздался призыв о помощи. Тувалу медленно, но верно уходит под воду – самая высокая точка в государстве возвышается над уровнем океана всего на 5 м.

Еще в XIX в. в Голландии катались на коньках, Темза зимой была полностью скована льдом. А уже к 1940 г. в Гренландском море количество льдов по сравнению с началом XX в. сократилось вдвое, а в Баренцевом – почти на треть.

Группа шведских климатологов и океанологов проанализировали спутниковые данные за период с 1978 по 1995 г., которые позволили определить состояние морских льдов в Арктике.

Установлено, что за эти годы площадь плавучих льдов в Северном Ледовитом океане сократилась примерно на 610 тыс. км², т.е. на 5,7 %. Одновременно выяснилось, что через пролив Фрам, отделяющий архипелаг Свальбард (Шпицберген) от Гренландии, ежегодно со средней скоростью около 15 см/с выносятся в открытую Атлантику около 2600 км³ плавучего льда (что примерно в 15 – 20 раз больше стока такой реки, как Конго).

В наступившем столетии в Северном полушарии ледовое покрытие рек и озер будет держаться на 2 недели меньше, чем в XX в. Растают ледовые покровы в горах Южной Америки,

Африки, Китая и Тибета. В России подходящего места для катания на горных лыжах не отыщется.

Две самые высокие точки Африки – Килиманджаро и Кения – почти лишились ледникового покрова. И если вырубку лесов и загрязнение атмосферы не остановить, то в течение 25–50 лет они полностью оголятся. Следствием станет обмеление крупнейших рек континента.

Килиманджаро потеряла 82 % своей ледяной «шапки». Одна из немногих экваториальных вершин, где существуют постоянные ледники – Кения – потеряла 92 %.

Уменьшение ледового покрова Килиманджаро фиксируется на протяжении последних 80 лет, а кенийские льды тают уже целый век. И если ситуация вокруг гор не изменится, то за следующие 25–50 лет обе горы останутся полностью без снега.

Эти горы можно считать стратегическими точками Африки – их ледниками питаются большинство рек континента, в том числе крупнейшие – Конго и Нил. А когда ледники растают, подпитка резко уменьшится, и реки частично обмелеют, а большей частью пересохнут.

С глобальными процессами жители окрестностей тающих гор справиться не в силах – это задача мирового сообщества. Однако человечество может изменить ситуацию более локальными средствами.

В частности, одна из основных причин таяния ледников – вырубка леса. Из-за уменьшения лесных массивов в атмосферу выделяется меньше влаги, восполняющей толщи ледника. Оставшиеся после вырубки площади превращаются в раскаленные «сковороды», существенно увеличивающие температуру.

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.

О глобальном потеплении свидетельствует необычно быстрый рост хвойных деревьев на о. Тасмания. Местные сосны, возраст которых составляет несколько тысяч лет, среди древесной флоры Южного полушария выделяются четко выраженными годичными кольцами. Детальное изучение колец у 23 живых и засохших сосен показало, что с 1985 г. их рост за последнюю тысячу лет оказался наиболее быстрым.

Представители Всемирной метеорологической организации сообщили, что в 2001 г. средняя температура в мире выросла на 0,42 °С по сравнению с 1961–1990 гг. Теплеет вот уже 23 года подряд. XX в. стал самым теплым столетием, а 90-е гг. – самым «жарким» десятилетием всего прошедшего тысячелетия. Если человечество будет выбрасывать углекислый газ в атмосферу такими же темпами (а именно парниковые газы считаются главной причиной глобального потепления), к 2100 г. температура увеличится в среднем на полтора градуса.

Исследования показали, что для избежания глобальной катастрофы необходимо уменьшить выбросы углерода в атмосферу до 2 млрд т в год (1/3 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.

В декабре 1997 г. на встрече в Киото (Япония), посвященной глобальному изменению климата, делегатами более чем из 160 стран была принята конвенция, обязывающая развитые страны сократить выбросы CO₂. Киотский протокол обязывает 38 индустриально развитых стран сократить к 2008–2012 гг. выбросы CO₂ на 5 % от уровня 1990 г.:

- Европейский союз должен сократить выбросы CO₂ и других тепличных газов на 8 %;
- США – на 7 %;
- Япония – на 6 %.

Протокол предусматривает систему квот на выбросы тепличных газов. Суть его заключается в том, что каждая из стран (пока это относится только к 38 странам, которые взяли на себя обязательства сократить выбросы), получает разрешение на выброс определенного количества тепличных газов. При этом предполагается, что какие-то страны или компании превысят квоту выбросов. В таких случаях эти страны или компании смогут купить право на дополнительные выбросы у тех стран или компаний, выбросы которых меньше выделенной квоты. Таким образом, предполагается, что главная цель – сокращение выбросов тепличных газов в следующие 15 лет на 5 % – будет выполнена.

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 приходит-

ся 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 хотя и не установлены, однако его масштабы хорошо согласуются с компьютерными моделями последствий глобального потепления.

8.4. Нарушение озонового экрана

Озоновая проблема уже давно беспокоит экологов. Озон – это форма молекулярного кислорода (O_3). Озон в стратосфере является продуктом воздействия солнечного ультрафиолетового излучения (УФ-излучения) на молекулы кислорода (O_2) (рис. 8.3).

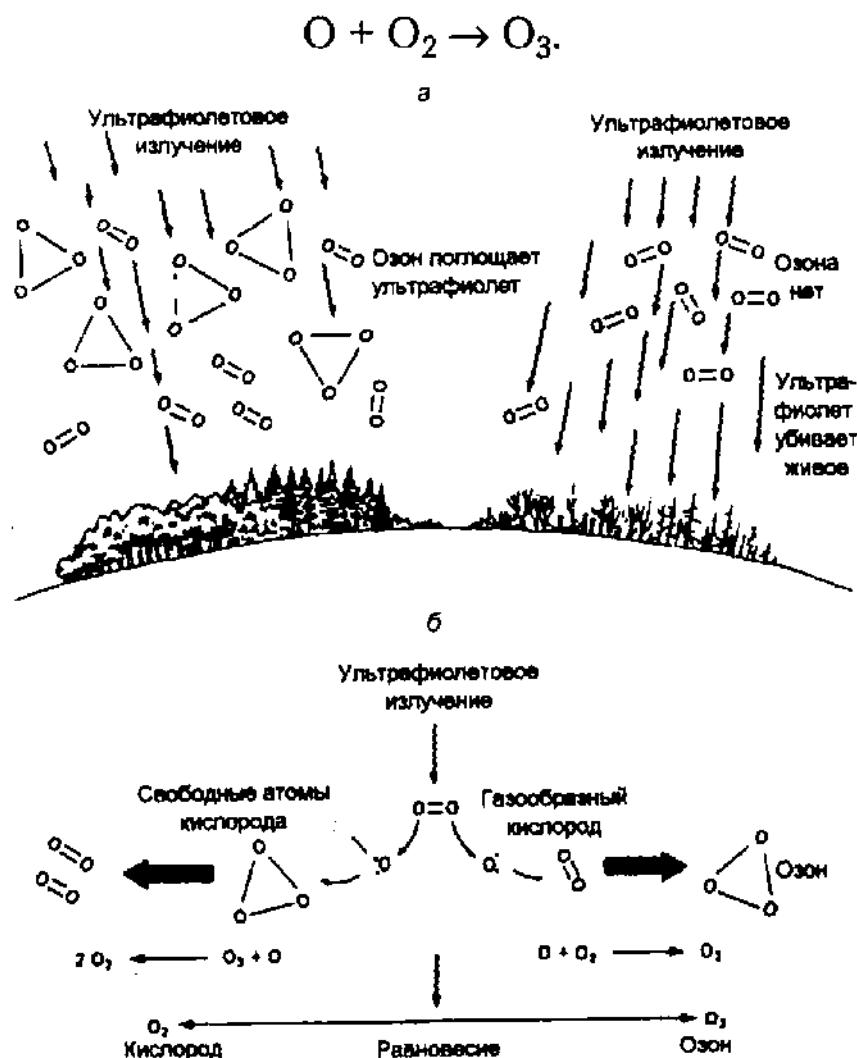


Рис. 8.3. Озоновый экран:

а – озон (O_3) в стратосфере поглощает ультрафиолетовые лучи Солнца; без такой защиты они уничтожили бы практически всю жизнь на планете; б – озон формируется в стратосфере, когда под воздействием УФ-лучей молекулы кислорода распадаются на свободные атомы, которые могут присоединяться к другим его молекулам

В результате некоторые из них распадаются на свободные атомы, а те, в свою очередь, могут присоединяться к другим молекулам кислорода с образованием озона (O_3). Однако весь кислород не превращается в озон, так как свободные атомы O , реагируя с молекулами озона, дают две молекулы O_2 . Таким образом, количество озона в стратосфере не статично; оно представляет собой результат равновесия между этими двумя реакциями.

Образуя в верхних слоях атмосферы (стратосфере) тончайший слой, так называемый озоновый экран, молекулы озона защищают все живое на Земле от УФ-излучения. Содержание озона в атмосфере менее 0,0001 %, однако именно озон полностью поглощает жесткое УФ-излучение Солнца с длиной волны $\lambda < 280$ нм, наносящее серьезные поражения клеткам живых организмов. При свободном попадании на Землю такие лучи способны вызывать у человека рак кожи, а также наносить вред животным и растениям. Падение концентрации озона на 1 % приводит в среднем к увеличению интенсивности жесткого ультрафиолета у поверхности Земли на 2 %.

По своему воздействию на живые организмы жесткий ультрафиолет близок к ионизирующим излучениям, однако он не способен проникать глубоко в ткани и поэтому поражает только поверхностные органы. Жесткий ультрафиолет обладает достаточной энергией для разрушения ДНК и других органических молекул, что может вызвать рак кожи, в особенности быстротекущую злокачественную меланому, катаракту и иммунную недостаточность. Биологическое действие УФ-излучения обусловлено химическими изменениями поглощающих их молекул живых клеток, главным образом, молекул нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) и белков, и выражается в нарушениях деления, возникновении мутаций и в гибели клеток.

Естественно, жесткий ультрафиолет способен вызывать и обычные ожоги кожи и роговицы. Уже сейчас во всем мире заметно увеличение числа заболеваний раком кожи, однако значительное количество других факторов (например, возросшая популярность загара, приводящая к тому, что люди больше времени проводят на солнце, таким образом получая большую дозу УФ-облучения) не позволяет однозначно утверждать, что в этом повинно уменьшение содержания озона.

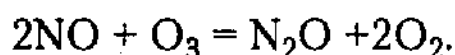
Жесткий ультрафиолет плохо поглощается водой и поэтому представляет большую опасность для морских экосистем. Эксперименты показали, что планктон, обитающий в припо-

верхностном слое, при увеличении интенсивности жесткого УФ может серьезно пострадать и даже погибнуть полностью. Планктон находится в основании пищевых цепочек практически всех морских экосистем, поэтому без преувеличения можно сказать, что практически вся жизнь в приповерхностных слоях морей и океанов может исчезнуть.

Растения менее чувствительны к жесткому УФ, но при увеличении дозы могут пострадать и они. Если содержание озона в атмосфере значительно уменьшится, человечество легко найдет способ защититься от жесткого УФ-излучения, но при этом рискует умереть от голода.

Озоновый слой начинается на высотах около 8 км над полюсами (или 17 км над экватором) и простирается вверх до высот приблизительно равных 50 км. Ирония состоит в том, что те же самые молекулы озона в тропосфере (нижний слой атмосферы) представляют собой опасные элементы, разрушающие живую ткань, включая легкие человека.

Наибольшая концентрация молекул озона, которые задерживают жесткое УФ-излучение космоса, наблюдается на высоте 20–25 км над уровнем моря. Именно поэтому большую тревогу со стороны экологов вызывает влияние оксидов азота, которые выбрасываются реактивными двигателями сверхзвуковых самолетов, летающих на этой высоте. 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 жесткого излучения. Эта цифра заметно превышала ущерб, наносимый озоновому щиту основным его врагом – фреонами. Кроме пассажирских самолетов, на состояние озонового экрана влияют также полеты военных сверхзвуковых стратегических бомбардировщиков и самолетов-разведчиков: опасность для атмосферного озона представляют выбросы водяного пара и оксидов азота из их двигателей.

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.

Запуски ракет также могут наносить серьезный локальный ущерб озонному слою в районе запуска. Это происходит из-за того, что в современных космических системах, например в твердотопливных ускорителях «Спейс-Шаттл» или «Ариан», используются хлоратные твердые топлива.

В мае 1985 г. британские ученые объявили о резком сокращении концентраций озона в стратосфере над Антарктикой каждой весной Южного полушария. Это явление получило название «озоновой дыры».

В настоящее время образование таких «озоновых дыр» наблюдается также и над Европой, Азиатским континентом, на юге Южной Америки. Особенно сильное влияние дыра оказывает на один из чилийских городов Пунта-Аренас, где уже сегодня показатели солнечной радиации настолько высоки, что местным жителям рекомендуется как можно меньше находиться на улице. «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 %.

Что касается «озоновой дыры» над Антарктидой, то ее появление во многом является следствием метеорологических процессов. Образование озона возможно только при наличии ультрафиолета и во время полярной ночи не идет. Зимой над Антарктикой образуется устойчивый вихрь, препятствующий притоку богатого озоном воздуха со средних широт. Поэтому к весне даже небольшое количество активного хлора способно нанести серьезный ущерб озонному слою. Такой вихрь практически отсутствует над Арктикой, поэтому в Северном полушарии падение концентрации озона значительно меньше.

На структуру и свойства озонового слоя влияют различные хлорфторорганические соединения – ХФУ. Большая часть хлора, используемая на Земле, например для очистки воды, представлена его растворимыми в воде соединениями. Следовательно, они вымываются из атмосферы осадками задолго до того, как попасть в стратосферу.

ХФУ очень летучи и нерастворимы в воде. Следовательно, они не вымываются из атмосферы и, продолжая распространяться в ней, достигают стратосферы, где более интенсивное солнечное излучение воздействует на них и в результате реакции выделяется хлор. Последний действует как катали-

затор, постоянно вступая в реакцию с молекулами озона с образованием молекул кислорода (O_2) и молекул оксида хлора (ClO_2). Молекулы оксида хлора затем вступают в реакцию с атомарным кислородом, с образованием молекул кислорода и свободных атомов хлора. И все начинается сначала. Посредством этого повторяющегося процесса одна молекула хлора может разрушить тысячи молекул озона, прежде чем сама будет нейтрализована. Это свойство ХФУ и выделяемого ими хлора делает фреоны очень опасными для озонового слоя стратосферы. Таким образом, ХФУ наносят ущерб, выступая в роли переносчиков атомов хлора в стратосферу. Осколки фреоновых молекул разрушительно действуют на слой атмосферного озона. ХФУ уже разрушили от 3 до 5 % озонового слоя атмосферы. Они относительно инертны химически, негорючи и ядовиты. Более того, будучи газами, при комнатной температуре они сжижаются при небольшом давлении с выделением тепла, а испаряясь, вновь его поглощают и охлаждаются. Эти свойства позволили применять их в следующих целях.

■ ХФУ используются практически во всех холодильниках, кондиционерах воздуха и тепловых насосах как хлорагенты (фреоны). Поскольку эти приспособления рано или поздно ломаются и выбрасываются, содержащиеся в них ХФУ обычно попадают в атмосферу.

■ ХФУ при производстве пористых пластмасс подмешивают в жидкие пластмассы при повышенном давлении (они растворимы в органических веществах). Когда давление понижают, ХФУ вспенивают пластмассу, как углекислый газ вспенивает содовую воду. И при этом улетучиваются в атмосферу.

■ Еще одна основная область их применения – электронная промышленность, а именно очистка компьютерных микросхем, которая должна быть весьма тщательной. И опять же ХФУ попадают в атмосферу. Наконец, во многих странах, кроме США, ХФУ до сих пор используют как компоненты в аэрозольных баллончиках, которые распыляют их в воздухе.

Использование фреонов продолжается и пока далеко даже до стабилизации уровня ХФУ в атмосфере. Так, по данным сети Глобального мониторинга изменений климата, в фоно-

вых условиях – на берегах Тихого и Атлантического океанов и на островах, вдали от промышленных и густонаселенных районов – концентрация фреонов-11 и -12 в настоящее время растет со скоростью 5–9 % в год. Содержание в стратосфере фотохимически активных соединений хлора в настоящее время в 2–3 раза выше по сравнению с уровнем 50-х гг. XX в., до начала быстрого производства фреонов.

Как же может повлиять возникновение озоновых дыр на самочувствие и здоровье человека? Исследованиями ученых установлено, что в случае разрушения озонового слоя может увеличиться частота трех типов рака кожи. Два наиболее распространенных типа рака кожи – базальноклеточный рак (базалиома) и плоскоклеточный рак (шиповидный). Сегодня более 500 тыс. американцев ежегодно подвержены таким заболеваниям. В ранней стадии развития эти типы рака излечимы. Третий тип рака, саркома, встречается значительно реже, но это наиболее опасная форма. Ежегодно отмечается около 25 тыс. случаев этого заболевания. В 5 тыс. случаев саркома приводит к летальному исходу, что составляет 65 % всех смертей, вызванных всеми видами рака кожи вместе взятыми. Опасность развития саркомы прямо связана с чувствительностью кожи отдельного человека к солнечному свету (светлокожие люди более подвержены этому процессу, чем темнокожие).

УФ-радиация также может повредить роговую оболочку глаза, соединительную оболочку глаза, хрусталик и сетчатку глаза, а также вызвать фотокератозиз (или снежную слепоту), похожий на солнечный ожог роговой или соединительной оболочки глаза. Медики считают, что увеличение воздействия УФ-радиации на людей вследствие разрушения озонового слоя приведет к увеличению числа людей с катарактой.

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.

Для каждого вещества, внесенного в список Монреальского протокола, математически рассчитан озоноразрушающий коэффициент в пересчете на одну молекулу. Этот коэффициент – относительная величина, где за единицу принят озоноразрушающий потенциал ХФУ-11 и ХФУ-12.

Озоноразрушающая способность вещества определяется количеством атомов хлора или брома в молекуле, его продолжительностью жизни в атмосфере (т.е. того времени, на протяжении которого это вещество будет сохраняться в атмосфере, прежде чем оно распадется или будет выведено из нее) и особенностями химического процесса, необходимого для распада данного вещества.

Страны, подписавшие договор, обязались сократить вдвое использование озоноразрушающих ХФУ к 1999 г. Однако в связи с ухудшающейся ситуацией в 1990 г. в Лондоне были приняты поправки к Монреальскому протоколу. Согласно Лондонским поправкам, в список регулируемых ХФУ вошли еще десять веществ и было принято решение прекратить использование ХФУ, галогенов и четыреххлористого углерода к 2000 г., а метилхлороформа – к 2005 г.

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 использованию отходов. Страны – участницы Конвенции взяли на себя функцию ограничивать и, насколько это возможно, постепенно сокращать и предотвращать загрязнение воздуха.

8.5. 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, поднимающаяся в воздух эродированная пыль из-за неправильного обращения с почвенным покровом, растительная пыльца, выделения животных и, наконец, космическая 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 1 ч 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 колес автомобилей. Несмотря на усовершенствование технологий производства автопокрышек эта проблема пока еще остается насущной. Достаточно сказать, что каждый автомобиль в год 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 того, 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 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 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 1 мг 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 Римскую империю. 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 1 мг 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 подслащивал вино «свинцовым сиропом», грозила смертная казнь.

До недавнего времени наиболее опасными источниками загрязнения свинцом были двигатели автомобилей. Переход на бессвинцовый бензин несколько улучшил ситуацию. В некоторых случаях отмечено уменьшение концентрации этого металла на 65 %. Тем не менее свинец, содержащийся в выхлопных газах автомобилей, может пагубно отражаться 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 атомные электростанции действуют во многих странах мира (около 30). В каждом 1000-мегаваттном реакторе содержится столько же радиоактивного материала, сколько бы выпало после взрыва 1000 бомб мощностью с хиросимскую. Каждый реактор ежегодно производит тонны радиоактивных отходов, 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 (5 кг плутония достаточно для производства одной атомной бомбы). Плутоний – самое смертоносное из всех известных веществ; 0,000001 г плутония (невидимая глазу частица) при вдыхании внутрь может вызвать рак, 0,001 г – вызывает фиброз легкого и смерть через несколько лет. Если равномерно распределить 1 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 Землю, человек является наиболее восприимчивым к канцерогенному воздействию радиации. Кроме провокации рака, радиация также вызывает генетические 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 предприятия теплоэнергетики, химической и нефтехимической отраслей промышленности. Основные загрязнители атмосферного воздуха в Республике Беларусь – автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия.

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 %); углеводороды (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 область (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 дизельного топлива).

8.6. Кислотные осадки

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 – SO_2 и азота – NO_x (N_2O , NO_2). Соединяясь с частицами воды, оксиды серы и азота образуют серную (H_2SO_4) и азотную (HNO_3) кислоты различной концентрации. Из школьного курса химии хорошо известно, что кислотность среды, определяемая водородным показателем (pH), является величиной, характеризующей концентрацию ионов водорода в растворе и численно равной отрицательному десятичному логарифму этой концентрации: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$. Водные растворы могут иметь pH от 0 до 14. Нейтральные растворы имеют pH 7, кислая среда характеризуется значениями pH меньше 7, а щелочная – больше 7 (рис. 8.4).

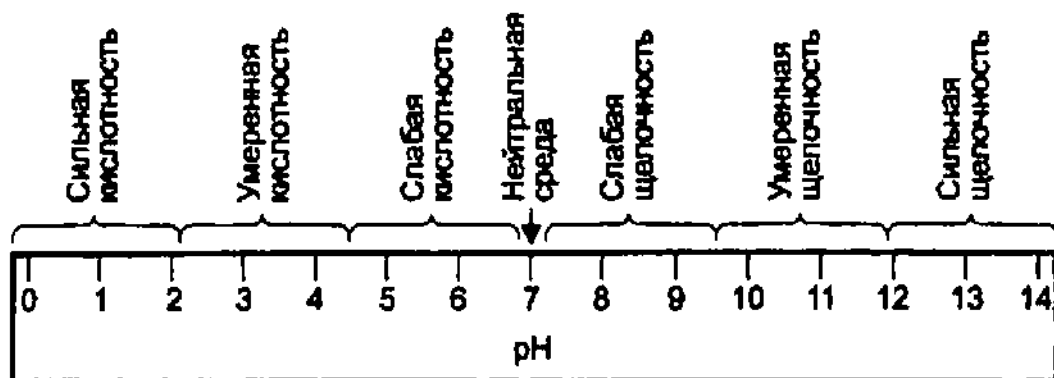


Рис. 8.4. Шкала pH

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



Рис. 8.5. Кислотные осадки: их причина и вредное влияние

километров и вызывать кислотные дожди в странах, которые находятся на больших расстояниях от источников загрязнения (рис. 8.5).

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 %; 40 % выбросов NO_x составляют выхлопные газы постоянно растущей армии автомобилей.

Атмосферные осадки, pH которых меньше, чем среднее значение pH дождевой воды (средний pH для дождевой воды равняется 5,6), получили название **кислотных (кислых) дождей**. Впервые этот термин был введен в употребление британским химиком Робертом Смитом более века назад, в 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.

Вода обычного дождя тоже представляет собой слабокислый раствор. Это происходит вследствие того, что природные вещества атмосферы, такие, как диоксид углерода (CO_2), вступают в реакцию с дождевой водой. При этом образуется слабая угольная кислота ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$). Тогда как в идеале рН дождевой воды равняется 5,6–5,7, в реальной жизни показатель кислотности дождевой воды в одной местности может отличаться от показателя кислотности дождевой воды в другой местности. Это, прежде всего, зависит от состава газов, содержащихся в атмосфере той или иной местности, таких, как оксид серы и оксиды азота.

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.

Несмотря на то что сигнал тревоги Роберта Смита прозвучал около 100 лет назад, индустриальные государства долго игнорировали опасность кислотных осадков. И только в начале 50-х гг. XX в. канадское правительство разработало программу изучения и мониторинга вод в озерах Новой Шотландии, где наблюдалось быстрое повышение кислотности. В 60-е гг. 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.

Кислотный дождь оказывает отрицательное воздействие на водоемы (озера, реки, заливы, пруды), повышая их кислотность до такого уровня, что в них погибает флора и фауна. Водяные растения лучше всего растут в воде со значениями рН между 7 и 9,2. С увеличением кислотности (показатели рН удаляются влево от точки отсчета 7) водяные растения начинают погибать, лишая других животных водоема пищи. При кислотности рН 6 погибают пресноводные креветки. Когда кислотность повышается до рН 5,5, погибают донные бактерии, которые разлагают органические вещества и листья, и органический мусор начинает скапливаться на дне. Затем гибнет планктон – крошечные животные, которые составляют основу

пищевой цепи водоема и питаются веществами, образующимися при разложении бактериями органических веществ. Когда кислотность достигает рН 4,5, погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых.

По мере накопления органических веществ на дне водоемов из них начинают выщелачиваться токсичные металлы. Повышенная кислотность воды способствует более высокой растворимости таких металлов, как алюминий, кадмий, ртуть и свинец, из донных отложений и почв. Эти токсичные металлы представляют опасность для здоровья человека. Люди, пьющие воду с высоким содержанием свинца или принимающие в пищу рыбу с высоким содержанием ртути, могут приобрести серьезные заболевания.

Первыми жертвами кислотных дождей стали озера и реки Скандинавии, северо-востока США, юго-востока Канады и юго-запада Шотландии. Во многом это связано с тем, что местные почвы и коренные породы не способны в должной мере нейтрализовать кислотные осадки. Повышение кислотности водоемов повлекло за собой увеличение содержания алюминия, крайне токсичного для рыб (летальная доза – 0,2 мг/л). Попутно фосфаты, которые играют особую роль в развитии кормовой базы многих рыб – фитопланктона 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 из 5000 озер Южной Норвегии полностью исчезла рыба. Исследование водоемов Баварии (Германия) показало, что в последние годы в них наблюдается резкое сокращение численности, а в отдельных случаях и полное исчезновение рыбы. При изучении 17 озер в осенний период было установлено, что показатель рН воды колебался от 4,4 до 7,0. В озерах, где показатель рН 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.

Защелчение пресных вод – это потеря ими способности к нейтрализации. Особо интенсивное защелчение озер в Скандинавии и Канаде объясняется тем, что большинство этих озер имеют бедное известняками (гранитное) ложе и потому

не обладают достаточной способностью к нейтрализации. Исследования, проводимые в Швеции, показали, что почти 18 000 озер имеют рН ниже 5,5, что неблагоприятно влияет на здоровье рыбных сообществ и уже привело к исчезновению некоторых популяций рыб. Уменьшение рН также влияет и на земноводных, фито- и зоопланктон. Это особенно заметно, если сравнить видовой состав флоры и фауны в озерах с близким набором питательных веществ и ионов, но с различной кислотностью. Когда среда водных экосистем имеет кислую реакцию, то практически все организмы, особенно на ранних стадиях развития, погибают прежде всего из-за невозможности размножения. Многие пищевые цепи могут прерываться, что, в свою очередь, приводит к снижению биоразнообразия.

Хотя почвы и являются менее восприимчивыми к подкислению, нежели водоемы, произрастающая на них растительность крайне негативно реагирует на увеличение кислотности. Кислые осадки в виде аэрозолей обволакивают хвою и листву деревьев, проникают в крону, стекают по стволу, накапливаются в почве. Прямой ущерб выражается в химическом ожоге растений, снижении прироста, в изменении состава подпологовой растительности.

В настоящее время в результате деятельности человека в атмосферу поступает 60–70 млн т диоксида серы, т.е. в 2 раза больше, чем это происходит естественным путем. Почти 40 % из 56 млн т ежегодных выбросов оксидов азота образуются из антропогенных источников. Главные из них: сжигание ископаемого топлива (угля, нефти, газа) – 12 млн т в год и транспорт – от двигателей внутреннего сгорания поступает в атмосферу 8 млн т. С различными видами промышленности выбрасывается в воздух около 1 млн т оксидов азота. В целом количество естественных и искусственных выбросов соединений, принимающих участие в образовании кислотных осадков, приблизительно одинаково, однако антропогенные выбросы диоксида серы и оксидов азота сосредоточены на ограниченных территориях с развитой промышленностью, и, таким образом, именно в этих местах создаются высокие концентрации кислотных микроэлементов. Вымывание кислотных веществ из атмосферы происходит во время образования облаков и осадков. Если бы в воздухе не было микроэлементов, то показатель рН атмосферных осадков составлял бы 5,6 благодаря наличию углекислого газа.

Загрязнение окружающей среды как следствие антропогенного вмешательства в природные процессы резко увеличивает кислотность.

Главными виновниками загрязнения воздуха и выпадения кислотных дождей являются США, страны СНГ, Польша, Германия, Великобритания, Канада и Китай.

Следует отметить, что от действия кислотных осадков страдает не только природное окружение человека. Их разрушительным действиям подвергаются многие эстетически значимые для человека памятники мировой культуры. Так, например, всемирно известный памятник архитектуры Древней Греции – Акрополь с его знаменитыми Парфеноном, Пропилеями, храмом Афины-Ники подвергается постепенному разрушению. Немаловажное значение при этом имеет действие кислотных дождей.

За 25 веков мраморные статуи Акрополя постоянно подвергались действию ветровой эрозии и дождей. А в последнее время этот процесс ускорился за счет кислотных осадков. Мало того, что под действием слабых растворов кислот разъедается древний мрамор, это сопровождается также и осаждением на памятниках корки сажи в виде диоксида серы, выделяемой промышленными предприятиями. Для соединения отдельных архитектурных элементов древние греки использовали небольшие стержни и скобы из железа, покрытые тонким слоем свинца. Тем самым они были защищены от ржавчины. Во время же реставрационных работ (1896–1933) были использованы стальные детали без всяких мер предосторожности. Поэтому сейчас в результате окисления железа под действием раствора кислот в мраморных структурах появляются обширные трещины. Образующаяся ржавчина вызывает увеличение объема, и мрамор раскалывается.

Другой источник тревоги – состояние мраморных скульптур на монументах Акрополя. Высокая влажность в сочетании с диоксидом серы приводит к разрушению античного мрамора, превращая его в гипс, который растворяется и смывается дождями или, смешиваясь с копотью и пылью, образует грубую корку, которая вскоре раскалывается.

Экологические проблемы не знают границ. Памятники Северной Америки, как и в Европе, находятся под угрозой. Работа тепловых электростанций и нефтехимическое производство в мексиканском штате Веракрус представляет опасность для памятников культуры доколумбовой эпохи.

На грани уничтожения барельефы ритуального центра Эль Тахин. Они создавались в VI–XIX вв. цивилизацией тотонаков. Различные изображения, орнаменты и пиктограммы покрывают колонны, бордюры и поверхности многоярусных пирамид. Материалом для всех сооружений в Эль Тахине служил мягкий известняк.

Известняк вступает в химическую реакцию с компонентами кислотных дождей, возникающих при загрязнении воздуха побочными продуктами сжигания и переработки нефти. Выбросы этих продуктов достигают рекордных для Мексики значений именно на территории штата Веракрус, лидирующего по запасам ископаемого топлива.

Таким образом, самые сильные кислотные дожди Мексики проливаются на наиболее уязвимые для них культурные памятники региона.

Для оценки реального риска для памятников, с 1992 г. находящихся в списках мирового наследия ЮНЕСКО, последние 4 года ведутся экспериментальные исследования. На типичный для Эль Тахина известняк воздействуют смесью, насыщенной характерными для Веракруса загрязнениями – хлоридами, сульфатами, нитратами. Отмеченные изменения позволяют предположить, что некоторые рельефы исчезнут уже через 10–20 лет.

Результаты исследований, проведенных по инициативе одной из комиссий ООН, свидетельствуют, что кислотные осадки также оказывают губительное воздействие и на старинные витражные стекла в Европе, что может окончательно их разрушить. Под угрозой находится более 100 000 образцов цветного стекла, многие из которых были созданы еще в прошлом тысячелетии. Исследования показали, что старинные витражи находились в хорошем состоянии до начала XX в. Однако за последние 30 лет процесс разрушения ускорился, и через несколько десятков лет, если не будут проведены необходимые реставрационные работы, они могут погибнуть окончательно. Ученые считают, что кислотные осадки являются следствием промышленных выбросов фабрик и электростанций, использующих уголь. Особой опасности подвергается цветное стекло, изготовленное в период с VIII по XVII в. Это объясняется особенностями технологии производства. Серная кислота разъедает цветное стекло; образуется солевая корка, что ускоряет процесс разложения краски. Стекло

покрывается трещинами и в конце концов разрушается. Вещества, содержащие серу, оказывают губительное воздействие также на кожаные и бумажные изделия. Старинные образцы кожи, обработанные органическими веществами, так же как и бумага, подвержены воздействию диоксида серы, в результате они становятся ломкими. Особенно страдает бумага, изготовленная после 1750 г.

8.7. Проблема дефицита пресной воды

*Самое необходимое в жизни – вода,
но ее легко испортить.*

Платон

Возможность получения пресной воды была одним из главных условий (или предпосылок) зарождения цивилизации, существования людей и развития любых производств. Для своих поселений человек с древних времен 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 издавна 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 также 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 име-

нами египетских фараонов. В высшей степени практичные египтяне начали ежегодно отмечать высоту паводка на Ниле за 3 тыс. лет до н.э. 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 состояния 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 планете. Запас воды в реках и озерах оценивается цифрой в 95 000 км³, т.е. всего 0,26 % от суммарных ресурсов пресных вод, или 0,007 % от общих запасов воды на Земле.

В 1999 г. в программе ООН по окружающей среде (ЮНЕП) сообщалось о том, что нехватка воды станет одной из самых насущных проблем нового тысячелетия.

Около 70 % имеющейся воды мы используем для нужд сельского хозяйства. И Всемирный водный совет полагает, что к 2020 г., чтобы прокормить растущее население планеты, нам понадобится на 17 % больше воды, чем будет в нашем распоряжении.

Сегодня каждый пятый человек в мире не имеет в своем распоряжении чистой питьевой воды. Каждый второй употребляет воду, не прошедшую адекватной очистки.

Главная составляющая здорового образа жизни и правильного питания – чистая вода. При этом в Китае, например, на производство 1 т пшеницы уходит 1000 т воды.

Более 1 млрд человек – шестая часть всего населения планеты – не имеют в настоящий момент постоянного доступа к пресной воде, около 2 млрд живут в неудовлетворительных санитарных условиях; 3 млн детей умирают ежегодно от зараженной микробами воды; 80 % болезней в развивающихся странах происходят от грязной воды. По мнению многих спе-

циалистов, причиной большинства экономических и политических конфликтов XXI в. станет борьба за пресную воду, т.е. вода может стать тем, чем была в XX в. нефть, — источником богатства для одних и поводом к войне для других.

В конце XX в. грянули первые водные войны. В 1994 г. армия Египта вошла в Судан, чтобы взять под контроль суданский участок Нила — великой реки, без воды из которой страна фараонов погибнет. В 1975 г. войска Ирака были приведены в состояние боевой готовности на границе с Сирией. Причина — дамба, которой советские инженеры перегородили Евфрат — источник иракской пресной воды. Война не состоялась — дипломаты убедили Ирак не раздувать конфликт. В 1990 г. иракцам вновь не повезло: на этот раз Турция системой плотин уменьшила воды того же Евфрата. Битву за воду предотвратили посредники. В XXI в. тоже едва не разразилась водная война. В 2002 г. Ливан объявил о строительстве плотин. Соседний Израиль, и без того испытывающий жажду, вмиг предостерег, что, как только начнутся работы, бомбы сравняют городки ливанских строителей с землей. Бейрут перепугался и о возведении плотин забыл.

Джон Кеннеди однажды высказал такую мысль: *«Тот, кто решит проблему пресной воды, достоин двух Нобелевских премий: первую за саму идею, а вторую за мир»*.

Самая чистая вода в мире — в Финляндии, за ней следуют Канада, Новая Зеландия и Великобритания. Самое низкое качество воды — в Бельгии, Марокко и Индии. По ее запасам на душу населения лидируют Дания (за счет Гренландии), Французская Гвиана и Исландия. Хуже всего обеспечены пресной водой Кувейт, Сектор Газа (Палестина) и ОАЭ. В развитых странах самая дорогая вода в Германии (почти 2 доллара за кубометр), самая дешевая — в Канаде (0,4 доллара).

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 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.

Сегодня не менее 400 млн человек живут в регионах с серьезной нехваткой воды. К 2050 г. их число может увеличиться до 2 млрд. Исследования показывают, что недостаток воды во многом вызван неразумной сельскохозяйственной деятельностью.

Проблема питьевой воды связана с проблемой использования ее для получения продуктов питания. Сельское хозяйство требует больших водных затрат. (На его долю приходится около 70 % потребляемой человечеством воды.) 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 XX в. промышленность потребляла всего 30 км³ воды в год, то к 1975 г. водопотребление возросло до 630 км³, и в 2015 г. оно достигнет (по прогнозам) 2750 км³ 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 м³ воды, 1 т бумаги – 1,5–60, 100 л пива – 5–21, для дубления 1 т сырой кожи – 20–50; 1 т пряжи – до 200, для выработки 1 т капронового волокна – 5600 м³, 1 т стали – 25 тыс. л., для выпуска одного автомобиля – 300 тыс. л для орошения 1 га хлопка – 5–6 тыс. м³, 1 га риса – 15–20 тыс. м³.

Растущие города требуют свою долю живительной влаги. Для обеспечения потребности в воде современного города с миллионным населением требуется по крайней мере 0,5 млн м³ воды в сутки из расчета 0,5 м³ на человека. Обычно город сталкивается с триединой водной проблемой: снабжение водой, отвод сточных вод и пополнение запасов воды.

Насколько города зависимы от запасов питьевой воды, свидетельствует следующий пример.

Город Сингапур расположен на острове вблизи полуострова Малакка. Питьевая вода в город поступает по водопроводу с полуострова, что делает

Сингапур уязвимым в стратегическом отношении. Во время Второй мировой войны японцы взорвали водопровод, связывающий остров с полуостровом, и гарнизону пришлось капитулировать. В дальнейшем власти решили создать запас пресной воды на самом острове.

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 огромных средств.

И может быть, не все было бы так плохо, если бы вода, которую мы используем или планируем использовать, была чистой. Однако острота проблемы 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 XXI в. 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.

8.8. Основные источники загрязнения поверхностных и подземных вод

Оскверняющий грязью светлые воды источника лишает себя питья.

Древняя мудрость

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 столовании блюда из лосося не должны подаваться более 2 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, лесном хозяйствах и др.;
- преднамеренное загрязнение дна морей и океанов различными токсическими (в том числе и радиоактивными) отходами;
- утечка загрязняющих веществ в результате судовых операций;
- аварийные выбросы с судов и из подводных трубопроводов;
- утечка нефти при разработке полезных ископаемых на морском дне;
- перенос загрязняющих веществ через атмосферу;
- естественная утечка нефти через трещины земной коры.

Грунтовые (подземные) воды – основной ресурс питьевой воды в мире. В отличие от поверхностных вод, которые можно очистить при помощи очистных сооружений, грунтовые воды включены в иной гидрологический цикл и потому не могут быть очищены. Большая часть грунтовых вод подпитывается осадками, которые просачиваются в почву.

На качество грунтовых вод могут оказывать влияние многие виды человеческой деятельности.

Главный источник загрязнения грунтовых вод – это мусорные свалки (полигоны). Твердые отходы на свалках состоят из пищевых отходов, бумаги, пластика, металлов и токсичных материалов (свинца, ртути, кадмия, ядохимикатов и пестицидов). Места утилизации отходов представляют угрозу для грунтовых вод, потому что вместе с дождем и влагой металлы и органические вещества просачиваются в почву. Этот процесс напоминает то, что происходит с пакетиком чая, опущенным в горячую воду.

Ученые подсчитали, что из свалки площадью в 40 – 47 га, расположенной во влажном месте, ежегодно вымывается от 172 до 308,5 млн л химикатов и металлов. Обычно в состав этих химикатов входят хлориды, свинец, медь и нитрит натрия.

Источниками загрязнения подземных вод также являются:

- химическое загрязнение сбросами вредных веществ: тяжелых металлов, фенолов, кислот, щелочей, цианидов и других минеральных и органических токсических веществ;
- ирригация;
- использование удобрений и пестицидов;
- септические отстойники и выгребные ямы;
- муниципальные канализационные системы;
- санитарные поля фильтрации и мусорные свалки;
- скважины, колодцы, подземные трубопроводы;
- промышленные отходы;
- поверхностные разливы различных веществ;
- утилизация соляных растворов и отходов добывающей промышленности.

Сюда же можно отнести и загрязнение окружающей среды выхлопными газами автомобилей. Загрязнители этого типа влияют на окружающую среду непосредственно, реагируя с теми или иными компонентами живой природы.

К особому типу загрязнителей относятся вещества, действующие медленно и относительно скрыто, хотя нередко довольно трудно различить скрытое или явное действие токсиантов. Это нефтяные углеводороды, продукты производства фенолов, галогенпроизводные инсектициды, гербициды, синтетические детергенты (применяющиеся в промышленности и в быту моющиеся средства).

Опасными загрязнителями являются также органические вещества, способные к ферментации. Этот тип загрязнения относится к биологическому. Он 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.

Добывающая промышленность создает проблему промышленных бассейнов и шламонакопителей, содержащих сточные воды. Эти поверхностные углубления в конечном итоге заполняются шламами, и их необходимо вычищать. В конце концов осадки из промышленных бассейнов оказываются в поверхностных и подземных водах. Особо опасны в жидких отходах добывающей промышленности такие вещества, как нитраты, хлориды, токсичные металлы и радиоактивные отходы. Твердые отходы добывающей промышленности обычно собираются в отвалах. Оттуда они попадают в воду в результате смыва осадками.

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.

8.9. Водные ресурсы Беларуси и их использование

*Вода благоволила литься!
Она блистала столь чиста,
Что – ни напиться, ни умыться.
И это было неспроста.
Ей не хватало ивы, тала
И горечи цветущих лоз.
Ей водорослей не хватало
И рыбы, жирной от стрекоз.
Ей не хватало быть волнистой,
Ей не хватало течь везде.
Ей жизни не хватало – чистой
Дистиллированной воде!*

Леонид Мартынов

Речная сеть Беларуси хорошо развита. Средняя густота ее составляет 25 км на 100 км². 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, Вилия, Днепр, Сож, Припять. Максимальная густота речной сети отмечается на севере Беларуси – в бассейне Западной Двины, в условиях пересеченного рельефа (более 45 км на 100 км²), минимальная – на юге республики в бассейнах Буга и Припяти.

В Беларуси насчитывается 10 800 озер. Среди них выделяются: жемчужина Беларуси – озеро Нарочь (80 км²), Освейское (58 км²), Дрисвяты (45 км²), Червоное (40 км²), Дривяты (38 км²). 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 м³ 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: 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 колодце вода превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) по многим микробиологическим показателям и содержанию ядохимикатов. В сельской местности в пределах подворий, ферм, складов удобрений и ядохимикатов происходит накопление в грунтовых водах нитратов и фосфатов, появляются в воде и ядохимикаты.

Считается, что только сельское население (около 3,2 млн человек) для питьевых нужд пользуется колодцами. В действительности же, колодцами в настоящее время пользуется значительно большее число людей, поскольку и в поселках городского типа, и в небольших городах, и даже в Минске колодцы все еще эксплуатируются. Общее их количество в Беларуси оценивается в 400 тыс. В пределах городской застройки в связи с возрастающим ухудшением качества грунтовых вод колодцы постепенно ликвидируются, прогрессирует их загрязнение и в пригородной зоне. Вода в большинстве этих колодцев имеет повышенную минерализацию – 630–1000 мг/л (в естественных условиях – около 200 мг/л), жесткость – до 9,8 мг-экв/л, а часто и выше (естественный фон – 3,0), содержит значительное количество натрия – до 91 мг/л, хлоридов – до 192 мг/л (естественный фон – 8–10, реже до 40 мг/л), сульфатов – до 212 мг/л (естественный фон – 12 мг/л) и нитратов – до 599 мг/л (естественный фон – 1,6 мг/л). 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 транспортных водных артериях состояние воды не улучшается.

Серьезные экологические нарушения связаны с деятельностью животноводческих комплексов, где технологии основаны на бесподстилочном выращивании животных и смыве гноя 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. м³ сточных вод.

По состоянию на 1995 г. к классу загрязненных отнесены следующие участки рек Беларуси («Состояние природной среды Беларуси», 1996): Свислочь (г. Минск), Мухавец (г. Кобрин), Мухавец (г.п. Жабинка), Мухавец (г. Брест), Рыта (с. М.Радваничи), Лесная (г. Каменец), Лесная Правая (г. Каменюки), Ясельда (г. Береза), Уза (г. Гомель), Днепр (г. Могилев), 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»), в связи с этим уменьшается количество доступного кислорода. В результате происходит крупномасштабное заглеевание озер и уменьшение поголовья рыбного племени.

8.10. Состояние почвенных ресурсов в мире и в Беларуси

*Ты прости меня, земля-матушка,
Что рвала я твою грудушку
Сохою острою, разрывчатой...
Не урядливым гребешком расчесывала,
Рвала грудушку бороночкой,
Со железными зубьями ржавыми...*

А.В.Кольцов

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 XX в. она превысила 6 млрд человек, а к 2100 г. составит, по прогнозам, 11,5 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. Из 149 млн км² суши для сельскохозяйственного использования человечеству доступны 134 млн км² (13,4 млрд га). По данным ФАО, в начале 70-х гг. XX в. было распаханно и обработано 1,5 млрд га, т. е. всего 10,8 % пригодной для хозяйственного использования суши. Луга и пастбища занимали 3 млрд га (22,3 %). В среднем на каждого жителя земного шара приходится около 1 га пахотных земель, лугов и пастбищ. Однако эта величина быстро снижается в связи с ростом народонаселения и выходом части угодий из сельскохозяйственного оборота (загублены). Ежегодно выключается из использования 5–7 млн га угодий. Однако при хорошем хозяйствовании можно повысить распаханность суши вдвое, доведя ее до 20–25 %. Пахотные земли в основном сосредоточены в лесостепных и степных зонах России, США, Индии, Китая, Канады, Бразилии. В бывшем СССР из общей площади земель, равной 2231 млн га, пашни и постоянные культуры (сады, виноградники и т. п.) занимали 237, луга и пастбища – 373, лесные угодья – 910 млн га (это к концу 80-х гг.). Распаханность земель

достигла 14 %. Однако на земле нельзя успешно хозяйствовать без разумной мелиорации (орошения и осушения), борьбы с эрозией почв, повышения их плодородия путем внесения органических удобрений. Жаль только, что эти мероприятия зачастую приобретают уродливые формы «хозяйничания», что не может не отражаться на состоянии наиважнейших природных ресурсов – почвенных.

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 1/3 меньше, чем сегодня.

Площадь пашни в Китае достигла верхнего предела и уменьшается под натиском индустриализации и цивилизации. Сейчас на 1 китайца приходится 0,06 га пашни, к 2030 г. прогнозируется уменьшение и этого показателя.

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, лёссах, флювиогляциальных, аллювиальных, озерных и иных отложениях.

Общая площадь земли Беларуси составляет 20,76 млн га. На долю продуктивных земель приходится примерно 86 % этой площади, немногим более 6 % – на земли, отведенные под дороги, постройки, торфоразработки и прочее, и около 8 % – на 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 подавля-

ют биологическую активность почв, уничтожают микроорганизмы, червей, уменьшают естественное плодородие почв. В пойменных землях Нечерноземья еще недавно было до 300 земляных червей на 1 м². 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.

8.11. Деградация почвенного покрова и опустынивание

Почва – наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов, естественных и искусственных, зависят в конечном итоге от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли.

Ж. Дорст

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 (развеванию, выдуванию).

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. 25-сантиметровый слой плодородной почвы за несколько часов был рассеян в пространстве на тысячи километров к востоку и на 3 тыс. м 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.

Большой урон состоянию почвенного покрова Земли наносят процессы, связанные с опустыниванием. В результате опустынивания уменьшается продуктивность земель, подверженных засухе. Такой процесс может происходить вследствие сведения лесов, нерационального землепользования, засухи, перевыпасов, нерационального орошения (заболачивания и засоления), деградации почв и других причин. Многие проблемы, связанные со сведением лесов, имеют прямое отношение к проблеме опустынивания.

Вследствие нерационального землепользования происходит падение продуктивности почвы, высыхает ее поверхностный слой, уменьшаются урожаи, увеличивается смыв плодородного слоя, песчаные дюны наступают на орошаемые земли и уничтожают урожай песчаными бурями.

К опустыниванию приводит также чрезмерный перевыпас. С увеличением поголовья скота увеличивается нагрузка на пастбища и одновременно падает их продуктивность. Это приводит к уменьшению количества подножного корма и съедобной растительности, замещению многолетних видов растений однолетними, которые не способны уберечь почву от эрозии, сбиванию пастбищ копытами скота, дестабилизации песчаных дюн в результате того, что скот поедает растительность на их гребнях.

Разрушению почв способствуют также 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 основной пищи — риса. Реки выносят смывную с полей почву в море. Если поблизости находятся богатые животным и растительным населением 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 эрозии 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 месте нынешней пустынной Сахары 9 тыс. лет назад находился, что называется, рай земной. Климат был тогда теплее и влажнее. И не только в Сахаре; в Сибири, например, тайга подступала к самому Северному Ледовитому (видимо, не столь тогда ледовитому) океану. А на месте Сахары простиралась плодородная степь с многочисленными озерами, покрытая густой травой и кустарником. Там паслись стада копытных, на них охотились крупные хищники и люди. На знаменитых фресках Тассили в Алжире, самые ранние из которых выполнены в 5-м тысячелетии до н.э., изображены буйволы, носороги, слоны, бегемоты, антилопы, жирафы. На землях Восточной Сахары, в плодородных прежде саваннах, еще до 2700 г. до н. э. скотоводы-кочевники пасли свои стада. Точные исследования показали, что южная граница Сахары с 1958 по 1975 г. сдвинулась на юг на 200 км.

Историки полагают, что именно опустынивание Сахары и Аравии дало толчок к развитию современной цивилизации,

вытеснив людей из потерявших плодородие земель в гиблые заболоченные долины Нила, Тигра и Евфрата, где они волею-неволей вынуждены были совершенствовать технику и общественные отношения.

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 га 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 на данных почвах становится экономически невыгодным. Около 3/4 земель в засушливых районах в той или иной степени уже подверглись опустыниванию.

Большой ущерб почвенному слою Земли наносит засоление его в результате неправильной мелиорации. Нерациональная ирригация вызывает подтопление и заболачивание земли. Это, в свою очередь, приводит к тому, что соли выходят на поверхность или namываются водой, если дренажные системы не отводят воду. Сведение лесов становится причиной наводнений, которые тоже вносят вклад в процесс засоления, так как вместе с водой namывается соль.

Примеров применения разрушительных технологий при использовании водных ресурсов 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 воды двух рек – Амударьи на юге и Сырдарьи на северо-востоке, питающих Арал, постоянно и в больших объемах перекачивались 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 Каракумы – некогда рыбное море само превратилось в соляную пустыню. Огромные пыльные бури на большие расстояния разносят соль и песок. На каждом гектаре окружающих море полей ежегодно оседает до полутонны соляной пыли.

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 хозяйствах. 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, в первую очередь с низким уровнем биогенности, приобретает особую актуальность.

8.12. Проблема истребления лесного покрова Земли

История человечества на протяжении тысячелетий была неразрывно связана с судьбой естественного растительного покрова Земли – лесов. Значение леса для первобытного человека трудно переоценить.

Леса служили основным источником продовольствия для первобытных общин, живших охотой и собирательством. Они являлись источником топлива и строительных материалов для сооружения жилищ. Леса были убежищем для людей и в большой мере – основой их экономической деятельности.

Около 10 тыс. лет назад на земном шаре существовали обширные лесные массивы лесов и редколесий. В течение многих веков из-за потребностей человечества в площадях, необходимых для выращивания сельхозкультур, для выпаса скота, заготовки деловой древесины и вырубki деревьев на топливо, «зеленый океан» значительно сократил свою площадь. Таким образом, сегодня общая площадь лесных земель на планете составляет чуть больше 4 млрд га.

Во Франции, например, где леса изначально покрывали около 80 % территории, к концу XX в. их площадь сократи-

лась до 14 %; в США, где лесами в начале XVII в. было покрыто почти 400 млн га, уже к 1920 г. этот лесной покров был на 2/3 уничтожен.

«Леса предшествовали человеку, пустыни следовали за ним». Эти слова французского писателя Ф. Шатобриана неоднократно цитировались в работах по экологии леса. Подобным образом высказывался и английский исследователь У. Таррил: *«Уничтожение леса было главным преступлением человека против природы и, возможно, против себя...».*

В табл. 8.1 показано распределение лесопокрытых площадей по регионам мира. Лесопокрытая площадь не включает участки под полянами, дорогами, сенокосами, просеками в пределах лесной территории. Поэтому эта площадь всегда меньше общей лесной.

Таблица 8.1. Лесные ресурсы мира

Регион	Площадь, млн га	Лесопокрытая площадь, млн га	Лесистость, %	Запас древесины, млрд м ³	Запас древесины на 1 га, м ³	Площадь лесов на 1 человека, га
Бывший СССР	2144	791,6	37	84,2	116	3,2
В том числе						
Россия	1709	763,5	44,7	80,7	47,2	5,2
Зарубежная Европа	546	137,8	32	14,6	106	0,3
Зарубежная Азия	2800	422,5	20	42,0	99	1,3
Северная Америка	1841	604,0	33	43,5	90	2,1
Центральная Америка	274	61,7	27	6,0	81	1,0
Южная Америка	1748	666,6	38	106,6	140	3,3
Африка	3030	760,1	28	35,0	47	2,0
Австралия и Океания	853	81,7	10	5,0	61	8,0
Мир в целом	13 236	3526,0	27	336,9	98	2,5

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 пло-

щадь лесов уменьшилась на 1 млрд га, что составляет 20 % их совокупной площади. Это самые большие потери лесных площадей за весь период истории биосферы.

Исследования лесного покрова Земли, проведенные в начале нашего столетия при помощи спутников показали, что современному человеку впору задуматься о судьбе зеленого покрова планеты. Ученые, работающие в рамках программы ООН по защите окружающей среды (ЮНЕП), выяснили: лесов на планете значительно меньше, чем предполагалось. Например, до сих пор считалось, что в такой лесной стране, как Канада, лесами занято 45% территории. Однако подсчет из космоса показал, что вторая после России «зеленая держава» реально располагает лишь 37 %-ном лесным покровом. А общая картина получилась настолько тревожной, что ЮНЕП обратилась к правительствам 15 стран, где сосредоточены основные лесные ресурсы планеты, с предложением срочно разработать планы по защите девственных массивов и увеличить площадь охраняемых территорий.

Вредное хозяйствование в лесных экосистемах впору называть глобальной экологической катастрофой. Во всем мире уже не один век продолжается уничтожение лесов. Сегодня их массивы уменьшаются примерно на 100 тыс. км² в год, что равно площади таких двух стран, как Швейцария и Голландия (ежегодно теряется 10 % лесов).

Многие исследователи сходятся на том, что до появления человека, в частности в Исландии, до 40 % площади острова были заняты березовыми лесами с примесью ивы, рябины и можжевельника. Со времени освоения Исландии викингами леса стали быстро сокращаться, и ныне их площадь не превышает 0,5 %.

За последние 300 лет человечество потеряло 6 млн км² лесов. Это больше, чем площадь Европы. Конечно, могут существовать разные мнения о темпах деградации природы, но о том, что она происходит и усугубляется везде (в Амазонии, Сибири, Карпатах и т. д.), сегодня уже нет никаких сомнений.

Леса являются основным средоточием жизни на Земле и средой обитания самого большого числа живых организмов. Они – один из основных источников материальных благ для человека. Неоценимо значение леса для здоровья людей. Каждый его гектар за год поглощает до 10 т углекислого газа, выделяет до 20 т кислорода и большое количество разнообразных летучих органических соединений, получивших название **фи-**

тонцидов. Эти биологически активные вещества уничтожают болезнетворные микробы, оздоравливают окружающую среду.

Сведение лесов имеет огромное количество побочных эффектов. Оно является главной причиной таких экологических проблем, как, например, опустынивание, деградация почв, наводнение, образование селевых потоков, заиливание водотоков, разрушение ареалов диких животных, вымирание видов животных и растений.

Лесные ресурсы способствуют поддержанию жизнеспособности общин и экономики целых стран, однако многие современные формы их использования являются экологически неустойчивыми. С вызывающей тревогу скоростью естественные леса во всем мире по-прежнему уничтожают, с тем чтобы использовать земельные ресурсы в других целях. В настоящее время процесс обезлесения идет наиболее быстрыми темпами в странах тропического пояса.

Леса играют важнейшую роль в обеспечении почвы влагой. Кроны деревьев удерживают 10–30 % осадков, а опавшая листва – 20–40 т воды на 1 км²/ч. Леса защищают от наводнений. По мнению экспертов, дополнительные 10 млн га лесов в верховьях рек способны стабилизировать сток в течение года.

Лесные экосистемы являются центрами биологического разнообразия. Нетронутые леса дают приют различным видам животных и растений, зона обитания которых простирается на десятки тысяч километров, например медведям, волкам, тиграм, некоторым видам птиц. Только в лесных массивах, где редко ступала нога человека, сохраняются особые условия обитания, необходимые для жизни некоторых видов животных и растений. К примеру, пятнистая сова, обитающая на Дальнем Востоке, гнездится в стоящих на корню, но уже мертвых стволах деревьев, которые встречаются только в старых лесах, где не совершались рубки.

Вырубка лесов привела к полному исчезновению в Иране короткогрового тигра и поставила перед серьезной угрозой существование каспийского тигра.

Леса несут важную экологическую и социально-экономическую функцию, в частности они регулируют количество и качество поступающей в реки дождевой воды, поглощая углекислый газ, играют ключевую роль в борьбе с последствиями глобального изменения климата.

Защищают леса и водные ресурсы. Они регулируют гидрологический режим рек и почв. В тех районах, где исчез лесной

покров на водоразделах рек, стали нередки наводнения или, наоборот, полное усыхание и исчезновение водного потока.

В 76 странах мира уже нет неосвоенных лесов, а добыча полезных ископаемых, энергоресурсов и прокладка дорог ставят под удар 40 % лесных массивов. По прогнозам специалистов, к 2010 г. потребление продуктов переработки леса увеличится еще в 1,5 раза. Чтобы привлечь внимание широкой общественности к вышеупомянутым проблемам, в 1990 г. по инициативе ООН была проведена глобальная оценка темпов уничтожения леса. Исследование обошлось в 4 млн долларов – это лишь 1/8 той суммы, которую жители США ежедневно тратят на покупку газет.

Относительно хорошо сохранились леса так называемого бореального пояса – это территория между арктической тундрой и лиственными лесами более теплой зоны умеренного климата. К ним относятся леса России, Скандинавии, Аляски и Канады. Суровый климат, малое плодородие почвы, невысокая плотность населения – все это помогло сохраниться лесному покрову северного полушария.

Особая проблема – уничтожение горных лесов. 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 урожая. Реки выносят смытую с полей почву в море, и там мельчайшие частицы оседают на прибрежных коралловых рифах, а это означает, что заодно уничтожается еще один лес – подводный: ведь он, как и лес обычный, живет солнцем. Заиленная вода не пропускает лучи, уникальный многокрасочный коралловый мир становится серым, мертвым, местное население лишается рыбы.

Еще один важный для жизни человека аспект – функция леса как кислородопроизводителя. Наиболее преуспели в производстве кислорода тропические леса. Так, каждый гектар такого леса продуцирует 28 т кислорода. Недаром тропический лес называют *легкими* нашей планеты.

Влажные тропические леса приурочены к узкой климатической зоне. Это леса бассейнов рек Амазонки в Южной Америке и Конго в Африке, Коста-Рики в Центральной Америке, острова Мадагаскар, островов Юго-Восточной Азии. Здесь для них сложилось наиболее угрожающее положение. В качестве примера можно упомянуть печальную историю острова Мадагаскар, где были уничтожены почти все леса, и в настоящее время на 9/10 территории острова идет активная эрозия

почвы. Тропические леса в зоне экватора находятся под угрозой. Еще в прошлом веке они оставались в девственном состоянии, однако с 1960 по 1990 г. была уничтожена 1/5 часть лесного покрова тропиков.

По разнообразию жизни на нашей планете ничто не может сравниться с влажными тропическими лесами: 1 га 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 %.

Тропические леса занимают всего около 7 % суши. Они переполнены жизнью от кроны самых высоких деревьев до лесной подстилки. Разнообразие растений (свыше 4/5 всех видов) и животных (почти половина всех наземных видов) порождено, возможно, идеальными жизненными условиями (все время тепло и влажно). Здесь встречается 80 % всех насекомых и 90 % приматов, из числа существующих на планете. С тропическими лесами связано происхождение каждой второй сельскохозяйственной культуры, возделываемой в мире.

Растительность тропического леса предстает перед путешественником сплошной стеной растений, поднимающихся на высоту до 75 м. Верхний ярус представлен гигантскими деревьями. На 1 га такого леса вмещается до 1000 т растительного материала. Множество эпифитов и лиан переплетают стволы деревьев. Лазающие растения достигают в длину 300 м и связывают древесные кроны друг с другом. Фауна тропических лесов еще богаче. Здесь обитает, по некоторым оценкам, 5 млн видов различных представителей мира животных, подавляющее количество которых приходится на насекомых. Множество их еще не открыты для науки, и большинство погибает, так и не будучи описанными зоологами. Вместе с гибнущими массивами тропических лесов под топором и пилой человека многие животные обречены на смерть.

Тропический лес – это единственное место на Земле, где природа в своем развитии достигает оптимума. Около 40 %

влажных тропических лесов Земли сосредоточено в Бразильской Амазонии. Они играют огромную роль в гидрологии континента, сохранении биоразнообразия, поглощении атмосферного углерода.

Постоянно влажные тропические леса – самая мощная растительная формация. Обилие тепла и влаги обуславливает самую большую биомассу среди биоценозов мировой суши – в среднем 50 000 т/км² сухого вещества, а в отдельных случаях до 170 000 т/км².

Биогеохимическая специфика влажных тропических лесов заключается в том, что почти все минеральные и органические вещества сосредоточены в самой растительности и циркулируют в высокоэффективной замкнутой системе.

Биогеохимический цикл массообмена сильно замкнут. Если вырубить дождевой тропический лес, то вместе с гибелью деревьев нарушится вся тысячелетиями создаваемая система биологического круговорота и под сведенным лесом останутся бесплодные земли.

Только в 2003 г. в Бразильской Амазонии было вырублено около 20 тыс. км² леса – рекордный показатель за последние 5 лет. Это на 15 % больше, чем в предшествующем году, и вырубленная площадь равняется территории Бельгии.

Причин тому несколько: это и рост численности населения региона с 1960-х гг. примерно в 10 раз, и промышленная вырубка лесов, и бурное развитие горнодобывающих производств. Причем если раньше вырубка и выжигание шли в основном по границе с плотно заселенными восточными и южными районами бассейна Амазонки, то теперь они охватили и его центральную область.

До недавней вырубки леса вдоль Трансамазонской магистрали считалось, что обезьяна могла проделать путь от Колумбии до Аргентины, ни разу не коснувшись земли. А теперь вырубка влажных тропических лесов ведется убийственными темпами – 1 млн деревьев в день!

Если не будет радикальным образом изменен нынешний характер эксплуатации тропических лесов и землепользования, то через 30–50 лет их не останется. Это приведет к резкому обеднению разнообразия жизни на Земле и вымиранию миллиона видов.

Что же делать, чтобы сохранить те зеленые островки, которые еще остались на нашей планете? Нужно прежде всего собрать необходимую информацию о современном состоянии

лесов. Следует также создать такую систему платежей за пользование лесными ресурсами, которая бы препятствовала коррупции и хищническому расточению, получению быстрой выгоды. Необходимо показать, что сбережение лесов в процессе их эксплуатации в конечном счете принесет гораздо больший доход в каждой отдельно взятой стране, чем проведение сплошных рубок и создание низкопродуктивных сельскохозяйственных угодий.

Ученые-экологи должны разработать систему мероприятий по улучшению состояния сохранившихся лесов, как неосвоенных, так и измененных деятельностью человека. Часть лесных территорий должна быть сохранена от вырубок и землепользования. Государство может получать от них доход, используя для туризма, защиты водоразделов и охраны биологического разнообразия страны. Каждому государству, на территории которого сохранились лесные массивы, необходимо посоветовать охранять свои неосвоенные леса, даже если в соседнем государстве существуют сходные с ними экосистемы. Целесообразно организовать землепользование на территории, прилегающей к неосвоенным лесам, чтобы максимально защитить их. Ну и, конечно, там, где вырубка наиболее интенсивна, необходимо попытаться восстановить фрагментированные и исчезающие леса. Это только малая часть тех мероприятий, которые должны обеспечить охрану лесных массивов нашей планеты.

8.13. Ресурсы сырья и энергии

Счастливой будет та эпоха, когда честолюбие начнет видеть величие и славу только в приобретении новых знаний и покинет нечистые источники, которыми оно пыталось утолить свою жажду. То были источники бедствий и тщеславия, утолявшие жажду только невежд, героев-завоевателей и истребителей человеческого рода. Довольно почестей Александрам! Да здравствует Архимед!

Сен-Симон

Энергия всегда играла и продолжает играть важную роль в жизнедеятельности человеческого общества. Переход человечества к освоению новых видов топлива для получения необ-

ходимой 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, в 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 общества. Рассматривая энергию как таковую, весьма важно различать 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, т.е. 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 (1 кВт = 1000 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, которые образовались под воздействием энергии Солнца 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; 50 лет назад уголь обеспечивал почти все энергетические потребности человечества. Его залежи сосредоточены в основном в странах бывшего СССР, США и Китая. Здесь находится около 88 % известных запасов угля. Считается, что в настоящее время запасы угля в 4 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 источников 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 %). Битуминозные пески обнаружены 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.

8.14. Современное состояние тепловой энергетики, гидроэнергетики и атомной энергетики

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 атомной 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 атомной энергетики принадлежит Франции – более 70 %, в Бельгии она составляет 66 %, Швеции – 50, Финляндии – 37, Великобритании и США – 18, Японии – 29, Южной Кореи – 53, Венгрии – 39, в бывшем СССР – около 11 %.

По вопросу целесообразности и безопасности атомной энергии существовали и существуют противоречивые мнения. Одна из точек зрения состоит в том, что, если сравнивать атомную энергию 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 : 4 тыс. в год, а вероятность серьезной аварии ядерной установки равна 1 : 5 млрд 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 джинн» 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 предложе-

но до сих пор, дает человечеству лишь ничтожную надежду на то, что когда-нибудь позже вопрос утилизации радиоактивных отходов будет решен. Таким образом, мы взваливаем на плечи грядущего поколения задачу, решения которой не знаем сами.

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, сжигаемые 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 масштабных катастроф. Каждый год в мире происходит 11–15 крупных аварий на плотинах. Крупнейшая катастрофа произошла на китайской реке Хуанхэ в 1933 г., когда из-за прорыва дамбы утонули 18 тыс. человек.

В 1963 г. авария плотины в Вайонте (Италия) привела к гибели 3 тыс. человек. В 1979 г. авария на плотине в Морви (Индия) унесла около 15 тыс. жизней. В 2001 г. в Польше река Висла прорвала дамбы в пяти местах, эвакуированы 12 тыс. человек. В 2002 г. в Германии в результате наводнения на Эльбе вода прорвала 7 плотин, было затоплено несколько населенных пунктов. В 2003 г. в Китае в провинции Шэньси погибли 72 человека, разрушено 50 тыс. домов.

8.15. Альтернативные источники энергии

Если Его Величество дорожит прелестью своих садов, белизной лица и красотой белья и если не хочет, чтобы его верноподданные задохнулись и закотели, подобно дурной ветчине, то парламент убедительнейше просит совершенно запретить употребление этого горючего материала, называемого каменным углем.

Из послания английского парламента
королю от 1316 г.

Альтернативные источники энергии – это ветер, солнце, приливы и отливы, биомасса, использование естественного тепла земных недр.

В настоящее время солнечная энергия используется в некоторых странах в основном для отопления, для производства энергии – лишь в незначительных масштабах, хотя потенциальные возможности энергетики, основанной на использовании непосредственно солнечного излучения, чрезвычайно велики.

Следует отметить, что всего лишь 0,0125 % энергии Солнца могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а 0,5 % – полностью покрыть потребности на перспективу.

К сожалению, вряд ли когда-нибудь эти огромные потенциальные ресурсы удастся реализовать в больших масштабах. Одним из наиболее серьезных препятствий такой реализации является низкая интенсивность солнечного излучения. Даже при наилучших атмосферных условиях (южные широты, чистое небо) плотность потока солнечного излучения составляет не более 250 Вт/м². Поэтому, чтобы коллекторы солнечного излучения «собирали» за год энергию, необходимую для удовлетворения всех потребностей человечества, нужно разместить их на территории 130 тыс. км².

В отличие от уловителей солнечной энергии, ветряные мельницы давно зарекомендовали себя в качестве альтернативного источника. Энергия движущихся воздушных масс огромна. Запасы энергии ветра более чем в 100 раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Постоянно и повсюду на земле дуют ветры – от легкого ветерка, несущего желанную прохладу в летний зной, до могучих ураганов, приносящих неисчислимый урон и разрушения. Всегда неспокоен воздуш-

ный океан, на дне которого мы живем. Ветры, дующие на просторах нашей республики и сопредельных стран СНГ, могли бы легко удовлетворить все ее потребности в электроэнергии. Климатические условия позволяют развивать ветроэнергетику на огромной территории – от западных границ до берегов Енисея. Богаты энергией ветра районы вдоль побережья Северного Ледовитого океана, где она особенно необходима людям, обживающим эти богатейшие края.

Почему же столь обильный, доступный да и экологически чистый источник энергии так слабо применяется? Известно, что двигатели, использующие ветер, покрывают всего одну тысячную мировых потребностей в энергии. Все дело в том, что 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, а последняя, превращаясь в пар, раскручивает турбины. Это первая в мире солнечная электростанция – прообраз будущих подобных электростанций, способных вырабатывать и хранить электроэнергию.

Данные установки перспективны для регионов с постоянным снабжением солнечной энергии и в первую очередь густонаселенных стран третьего мира, таких, как Китай, Индия, где потребление энергии ежегодно возрастает на 10 %.

Возведение подобных 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 4 раза больше, нежели расходы на сооружение ТЭС, работающей на твердом топливе, и, соответственно, в 3 раза больше, чем строительство гидроэлектростанции и 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. Например, 1600 жителей острова Дезират в Гваделупе пользуются электричеством, которое вырабатывают 20 ветряных генераторов.

При условии эффективного использования энергии ветра, ее было бы вполне достаточно, чтобы полностью покрыть глобальные нужды в электроэнергии. Таковы результаты замеров в более чем 8000 мест по всей планете. Для усовершенствования использования ветряной энергии в калифорнийском Стэнфордском университете была создана карта мира, на которой особо выделены места с наибольшей ветряной активностью. Привлекательными для использования считаются ветры, которые на высоте 80 м над землей достигают скорости 6,9 м/с и более. Такие ветры относятся к 3-му классу и являются типичными для Северного моря, южной части Южной Америки, Тасмании, а также Великих озер на севере Америки. Основная задача состоит в том, чтобы более целенаправленно выделять энергию ветра, считают ученые. Они установили, что потенциал дешевой энергии, скрытый в силе ветров, гораздо больше, чем предполагалось до сих пор. Исследователи подсчитали, что в местах с ветрами 3-й категории ежегодно вырабатывается около 72 ТВт энергии. Даже если учесть, что использоваться будет только небольшой процент от общего количества, его должно с избытком хватить на все энергозатраты планеты – в 2000 г. они составляли 1,6 – 1,8 ТВт. 1 ТВт равен 1 млрд кВт. Для получения 1 ТВт электроэнергии в настоящее время требуется приблизительно 500 атомных станций, или несколько тысяч ТЭС.

Еще один источник энергии, не загрязняющий окружающую среду, – подземное тепло нашей планеты. Насколько колоссальна мощь этой энергии все знают на примерах катастрофических извержений вулканов, унесших миллионы человеческих жизней, неузнаваемо изменивших облик многих мест на Земле. Мощность извержения даже сравнительно небольшого вулкана огромна, она многократно превышает мощность самых крупных энергетических установок, созданных руками человека. Правда, о непосредственном использовании энергии вулканических извержений говорить не приходится – пока у людей нет возможностей обуздать эту непокорную стихию.

Однако другие способы использовать дешевую и доступную энергию человек предпринимает. Название страны «Исландия» переводится как «ледяная страна». Местных источников энергии в Исландии практически нет. Зато она очень богата горячими источниками и знаменитыми гейзерами–фонтанами горячей воды, с точностью хронометра вырывающейся из-под земли. Столица – Рейкьявик, в которой проживает половина населения страны, отапливается только за счет подземных источников. Многочисленные исландские теплицы получают энергию от тепла земли.

Но не только для отопления черпают люди энергию из глубин земли. Уже давно работают электростанции, использующие горячие подземные источники. Первая такая электростанция, совсем маломощная, была построена в 1904 г. в небольшом итальянском городке Лардерелло, названном так в честь французского инженера Лардерелли, который еще в 1827 г. составил проект использования многочисленных в этом районе горячих источников. Пар из-под земли поступает в турбины электростанции. Постепенно мощность электростанции росла, в строй вступали все новые агрегаты, использовались новые источники горячей воды, и в наши дни ее мощность достигла уже внушительной величины – 360 тыс. кВт. В Новой Зеландии существует такая электростанция в районе Вайракеи, ее мощность 160 тыс. кВт. В 120 км от Сан-Франциско в США производит электроэнергию геотермальная станция мощностью 500 тыс. кВт. На Камчатке электроток дает Паужетская геотермальная станция.

Но это пока лишь крохотная доля использования данной энергии. Потенциальная мощность геотермальной энергетики несравненно выше.

Наиболее очевидным способом использования океанской энергии представляется постройка приливных электростанций (ПЭС). Для использования энергии приливов и отливов ПЭС обычно строят 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 ПЭС могут использовать до 45 % приливной энергии.

С 1967 г. в устье реки Ранс (Бретань) во Франции на приливах высотой до 13 м работает энергоустановка, состоящая из 24 реверсивных турбогенераторов. Выходная мощность установки 240 МВт – одна из наиболее мощных гидроэлектростанций во Франции. Одна из первых ПЭС в бывшем Советском Союзе построена в 1968 г. в Кислой Губе около Мурманска.

Бакены и маяки, использующие энергию волн, уже усеяли прибрежные воды Японии.

Геологи установили, что на глубине 4–6 км залегают раскаленные до 180–200 °С массивы, занимающие большую часть территории бывшего Советского Союза. Области же с температурой недр до 100–150 °С встречаются почти повсеместно. Также установлено, что на нескольких миллионах квадратных километрах располагаются горячие подземные реки и моря с глубиной залегания до 3,5 км и температурой воды до 200 °С. Вся эта горячая вода находится под давлением. Поэтому достаточно пробурить скважину, чтобы мощный фонтан пара и горячей воды вырвался наружу. Использовать его можно или на обогрев зданий, или получить электроэнергию, пустив на турбины электростанций.

Одним из достижений использования альтернативных источников энергии, широко применяющихся 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 м³ биогаза, что эквивалентно 1,3 л бензина. Этого достаточно для приготовления пищи для четырех человек или работы 100-ваттной свечевой лампочки в течение 14 ч. Кроме того, отработанный остаток является отличным удобрением, по своей ценности намного превосходящим навоз.

В Индии для получения биогаза используется около 1 млн 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. В некоторых странах из него методом ферментации производят жидкое топливо, в частности этанол. Так, в Бразилии растительную массу преобразуют в этиловый спирт в таких количествах, что она уже удовлетворяет большую часть своих потребностей в автомобильном топливе. Сырье, необходимое для организации массового производства этанола, – это в основном сахарный тростник, который 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 «био-хол» – горючее для автомобилей, содержащее 10 % этанола, полученного из кукурузы.

Там же, в США, при поддержке военно-морского флота в середине 70-х гг. прошлого века группа специалистов в области исследования океана, морских инженеров и водолазов создала первую в мире океанскую энергетическую ферму на глубине 40 футов (12 м) под залитой солнцем гладью Тихого океана вблизи города Сан-Клемент. Ферма была небольшая. По сути своей все это было лишь экспериментом. На ферме выращивались гигантские калифорнийские бурые водоросли.

По мнению директора проекта доктора Говарда А. Уилкок-са, сотрудника Центра исследования морских и океанских систем в Сан-Диего (Калифорния), «до 50 % энергии этих во-

дорослей может быть превращено в топливо – в природный газ метан. Океанские фермы будущего, выращивающие бурые водоросли на площади примерно 100 тыс. акров (40 тыс. га), смогут давать энергию, которой хватит, чтобы полностью удовлетворить потребности американского города с населением в 50 тыс. человек».

ГЛАВА 9

ЭКОЛОГИЯ КАК ОСНОВА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1. Экология, рациональное природопользование и охрана природы

Несмотря на почти сто лет пропаганды, развитие охраны природы идет черепашью шагом и ограничивается главным образом благочестивыми вздохами на бумаге и красноречием на съездах и конференциях...

Отто Леопольд

С первых шагов человека по земле его жизнь неотделима от природной среды, дома, в котором он обитает. И только природе он обязан своим существованием на планете по имени Земля. На протяжении своей истории человек старался познать объективные закономерности природы. Постепенно, воздействуя на нее с помощью постоянно совершенствующихся орудий и средств труда, он преобразовывал окружающую 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. Она является для человека источником материальных и духовных благ, обеспечивает экономическое процветание и культурный прогресс всех цивилизаций.

Нобелевский лауреат этолог Н.Тинберген о взаимоотношениях человека и окружающей среды сказал следующее: «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, т.е. 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 взаимодействия между деятельностью человека и окружающей средой с целью его 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 исполь-

зования 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 изменяющимися 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.

9.2. Основные проблемы охраны окружающей среды Беларуси

*Берегите эти земли, эти воды,
Даже малую былиночку любя.
Берегите всех зверей внутри природы,
Убивайте лишь зверей внутри себя.*

Е. Евтушенко

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 аспекты экологических проблем республики можно свести к следующим:

- негативное влияние на природную среду хозяйственной деятельности человека (промышленные выбросы, загрязняющие воздух и водную среду; вырубка лесов, ведущая к понижению уровня грунтовых вод, разрушению природных ландшафтов; мелиорация, провоцирующая эрозию почв; чрезмерное использование органических и минеральных удобрений в сельском хозяйстве и как следствие – заражение 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 — ландшафты, на подземные водоносные горизонты, 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).

С учетом последовательного роста численности городского населения все большую значимость приобретает проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах. Хотя по сравнению с зарубежными промышленными странами воздух в городах республики можно считать относительно чистым, все же в центрах, где сосредоточено много крупных предприятий химической индустрии, дышать с каждым годом становится все труднее. Особенно актуальна эта проблема для Могилева, Витебска, Гомеля, Новополоцка, Мозыря, Бобруйска, Полоцка, Гродно, Солигорска, Светлогорска и др. Могилев включен в число городов страны с высоким уровнем загрязнения атмосферы, особенно токсичными веществами. В Гомеле и Гродно уровень загрязнения воздуха сернистыми газами значительно выше среднего уровня по городам страны. Основной «вклад» в загрязнение воздуха этой примесью вносит автомобильный транспорт. Средняя за год концентрация формальдегида в воздухе городов республики почти в 3 раза превышала установленный в 1996 г. норматив. При неблагоприятных метеоусловиях концентрации пыли, оксида углерода, фенола, сероуглерода, аммиака превышали ПДК в 1,5–3 раза, а диоксида углерода и формальдегида — в 5–7 раз.

В основе 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 населенные пункты, промышленные и крупные животноводческие комплексы ли-

бо вовсе не имеют очистных сооружений, либо качество их не удовлетворительное.

Существенной для Беларуси является проблема загрязнения подземных и поверхностных вод. Грунтовые воды, используемые для питьевых целей в большинстве сельских населенных пунктов страны, имеют повышенное содержание нитратов, средние концентрации которых превышают ПДК (в Гродненской области – в 2,2 раза). Если грунтовые воды загрязнены практически повсеместно в 75–80 % колодцев, то снижение качества подземных вод, используемых для централизованного водоснабжения, локализовано. Оно происходит в местах размещения загрязняющих веществ очистных сооружений, животноводческих ферм, свалок и т.п.

Загрязнение природных вод, в том числе источников питьевого водоснабжения, из-за неразумного использования химических удобрений и ядохимикатов, наносит огромный ущерб растительному и животному миру. Так, в Беларуси их потребление в период с 1960 по 1987 г. увеличилось в 20–25 раз! Применение калийных удобрений возросло со 121 до 846 тыс. т, неорганических азотных – с 31 до 734 тыс. т (с 4 до 92 кг на 1 га). Как следствие, из-за нитратного загрязнения выведено из строя большинство колодцев. Нитратное загрязнение грунтовых вод зафиксировано на большей части территории республики, находящейся под сельхозугодьями (а это почти 8 млн га). Оно в 2–15 раз превышает 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 – серьезную причину детской смертности. В районах интенсивного применения ядохимикатов высока детская смертность, отмечаются опасные 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 земледелия.

Развитие человечества очень дорого обходится самому человеку и природе. Возьмем, например, энергетику. Вполне понятно, что без энергии человек не может долго существовать, поэтому ее производство 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 – это 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 слабopоточный, 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 токсикианты 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, сви-

детельствуют все учащающиеся случаи гибели китов-лоцманов, целыми группами выбрасывающихся на береговые отмели. В условиях массового 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, т.е. не имеет и не планирует иметь собственных ядерных вооружений, не имеет атомной энергетике. Причины понятны – Беларусь в Мировом сообществе представляет государство, наиболее пострадавшее от катастрофы на Чернобыльской АЭС. Около четверти территории республики оказалось загрязненной радионуклидами.

На этой территории проживают почти 2 млн человек, которые подвергаются повышенной канцерогенной и мутагенной опасности. Здесь осложнено, а подчас и невозможно получение соответствующей международным нормам сельскохозяйственной продукции.

Кроме того, практически у всех жителей республики имеет место радиофобия, выражающаяся в чувстве повышенной опасности в связи с питанием загрязненными продуктами. Все эти факторы заставили прекратить строительство атомной 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 (Литовская Республика; 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 ве-

дется 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 гг. прошлого века 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 ФРГ, имеющей сходные с нашей республикой климатические условия. Там за 4 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. Эти территории являются источником распространения сорняков и вредителей. 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.

9.3. Охрана флоры и фауны. Красная книга Беларуси

*И твердит Природы голос:
«В вашей власти, в вашей власти,
Чтобы все не раскололось
На бессмысленные части».*

Л. Мартынов

Развитие человечества проходило под знаком постоянной войны с природой. Казалось, в ее лице человек обрел извечно-го недруга. И все мероприятия, связанные с окультуриванием природной среды, называли не иначе как «завоевание» и «борьба». И вот, 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 растений. 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*), подо-

рожник 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 позапрошлом веке.

За очень короткое в геологическом масштабе время человечество вырубилло, сожгло, распахало, застроило и уничтожило более 2/3 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 модернизированные, являются главными орудиями лесорубов. За один только год население бывшего Советского Союза сжигало около 1 млн м³ древесины в виде спичек. (Для сравнения: патриарх Беловежской пущи – семисотлетний дуб «вмещает» в себя только 34 м³.) 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–XVI в., когда через территорию Беларуси потянулись оживленные транспортные 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. Очень пострадали особо 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 естест-

венные 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 белозеролистная 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 2–3 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 100 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 ок-

рестностях. 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 топая, прошагает 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 вышло в 1993 г. В нее включено уже 182 вида животных, 180 видов растений, 17 видов грибов и 17 видов лишайников.

В 2006 г. было предпринято новое издание национальной Красной книги, которое подготовлено с использованием усовершенствованных международных подходов и критериев. Одновременно с этим учитывалась региональная специфика, национальные природоохранные приоритеты и возможности для решения задач по сохранению видов. Новое издание Красной книги включает 463 вида животных и растений.

В настоящем издании учтено 189 видов животных. Основные группы представлены млекопитающими – 17 видов, птицами – 72 и насекомыми – 70 видов.

Представители флоры Беларуси представлены 274 видами: 173 вида сосудистых растений, 27 – мохообразных, 21 – водорослей, 24 – лишайников и 29 видов грибов.

Все виды животных и растений, попавшие на страницы Красной книги, сгруппированы по разделам: млекопитающие, птицы, рептилии, амфибии, рыбы, насекомые, двусторчатые моллюски, ракообразные, плаунообразные, хвощеобразные, папоротникообразные, голосеменные, покрытосеменные, мохообразные, водоросли, лишайники, а также грибы.

Каждый вид охарактеризован с точки зрения его статуса, т.е. категории охраны. Таких категорий национального природоохранного статуса четыре.

I категория – виды, имеющие очень низкую или быстро сокращающуюся численность. Из-за этого они в ближайшем будущем могут исчезнуть. Поэтому их состояние невозможно без осуществления специальных мер охраны.

Среди животных, попавших в эту категорию охраны, можно отметить такие виды, как европейская норка, беркут, сизоворонка, стерлядь, атлантический лосось.

Из растений данной категории можно указать ятрышник племоносный, лобелию Дортмана, валериану двудомную, пихту белую.

Ко **II категории** охраны относятся виды, имеющие низкую численность, тенденцию к ее сокращению (или ареала) и прогнозируемое в ближайшем будущем ухудшение статуса. Среди животных – бурый медведь, европейская рысь, орлан-белохвост, скопа, филин, жук-олень, стрелчатая пяденица.

Из представителей растительного мира в данную категорию охраны попали ятрышник мужской, омела австрийская, плющ обыкновенный, береза карликовая, дуб скальный, кубышка малая. Грибы – трюфель шелковистый, трутовик розовый. Лишайник – кладония стройная.

III категория включает редкие виды, не находящиеся под прямой угрозой исчезновения, но подверженные риску вымирания в перспективе, если будут действовать факторы (чрезмерная эксплуатация или нарушение их мест обитания), вызвавшие сокращение их численности. Из животных к данной категории относятся обыкновенный хомяк, крапчатый суслик, барсук, большая белая цапля, черный аист, серый журавль, болотная черепаха, широкопалый рак, медицинская пиявка, обыкновенный рыбец, блестящая жужелица.

Из растений – медвежий лук, колокольчик сибирский, кадило сарматское, водяной орех, рододендрон желтый, кувшинка белая. Из грибов – лисичка серая, лишайник – лобария легочная.

К **IV категории** охраны относятся виды с невысокой степенью риска исчезновения, чья численность сокращается, но при правильной охране способные к ее восстановлению до уровня, не вызывающего опасений.

Из животных в данную категорию попали серый гусь, болотная сова, белоспинный дятел, усатая синица, европейская корюшка (снеток), жужелицы – решетчатая и фиолетовая.

Кроме данных категорий, в Красную книгу Беларуси занесены виды растений и животных, для которых невозможно ор-

ганизовать практическую охрану, так как они считаются исчезнувшими с территории республики за последние 100 лет. Это так называемый Черный список, который включает 8 видов животных и 62 вида растений.

Из животных в Черный список среди других попали: красивейшая бабочка – апполон, моллюск – жемчужница обыкновенная, осетр балтийский (отмечался в водоемах Беларуси до середины XIX в.), обыкновенная выхухоль, росомаха, встречавшаяся в смешанных лиственных лесах Беларуси, Польши и Украины в XVI–XIX вв.

Растения из Черного списка представлены такими видами, как лен желтый, молочай болотный, пыльцеголовник крупноцветковый, вероника ложная, осот болотный, шпажник болотный, очиток волосистый и др.

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 – лишь постановка задачи. И от нас с вами зависит, как эта задача будет решаться.

9.4. Заповедные и другие охраняемые территории

*Аэродромы, пирсы и перроны,
Леса – без птиц
И земли без воды.
Все меньше окружающей природы,
Все больше окружающей среды.*

Роберт Рождественский

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 че-

ловека. 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 нетронутых уголков 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 Ашока 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 – зубры, антилопы, страусы, кенгуру (заповедник Аскания-Нова).

Одним из самых старых заповедников Европы является знаменитая Беловежская пуца. Охрана ее природных богатств началась с XI в. 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 предложил 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 очевидной 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 в 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 также в конце XIX в. (Сарек, Стора Сейффалет 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 и 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 положительные результаты.

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 Морицсала, был учрежден резерват, имевший статус заповедника. Несколько позже, в 1916 г., основаны заповедники Баргузин-

ский – на побережье озера Байкал и Кедровая Падь – Приморский край. 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 информационноохранные 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), биocenozов, экосистем и ландшафтов нуждается в той или иной степени охраны. Однако реально организовать действенную охрану природных объектов можно лишь для их ограниченного числа, поэтому необходимо сосредоточить усилия хотя бы на самых важных.

Выделяются 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, 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 2300 национальных парков, в Европе – более 160. Мировая площадь всех национальных парков – более 4 млн км². Основные задачи заповедников и национальных парков – сохранение природных экосистем, поддержание экологического разнообразия природной среды, сохранение природного гено-

фонда животных и растений, 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 отдельные виды птиц, растений, а также водопадов, пещер и т.п.

4. Памятники природы – природные достопримечательности, имеющие научное, историческое 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 санитарно-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.

По состоянию на 1 января 2001 г. в нашей республике насчитывалось 94 республиканских заказника общей площадью

814,1 тыс. га. По областям: Витебская – 26 заказников, Минская – 20, Брестская – 19, Гомельская – 15, Гродненская – 14, Могилевская – 3 заказника.

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.

9.5. Биосферные заповедники, их цели и задачи

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. Она призвана обеспечить на основе комплексных фундаментальных исследований получение данных, необходимых для рационального использования природных ресурсов и управления процессами, протекающими в биосфере. В рамках программы создана сеть охраняемых природных территорий, называемых биосферными заповедниками.

Биосферные заповедники – строго охраняемые значительные по размерам природные территории, не испытывающие прямых антропогенных воздействий. Они располагаются в наиболее типичных в природном отношении регионах Земли и образуют как бы мировую сеть эталонов биосферы до появления человека. 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 редкие виды растений или животных или уникальные комплексы на своей территории;
- 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. 9.1).

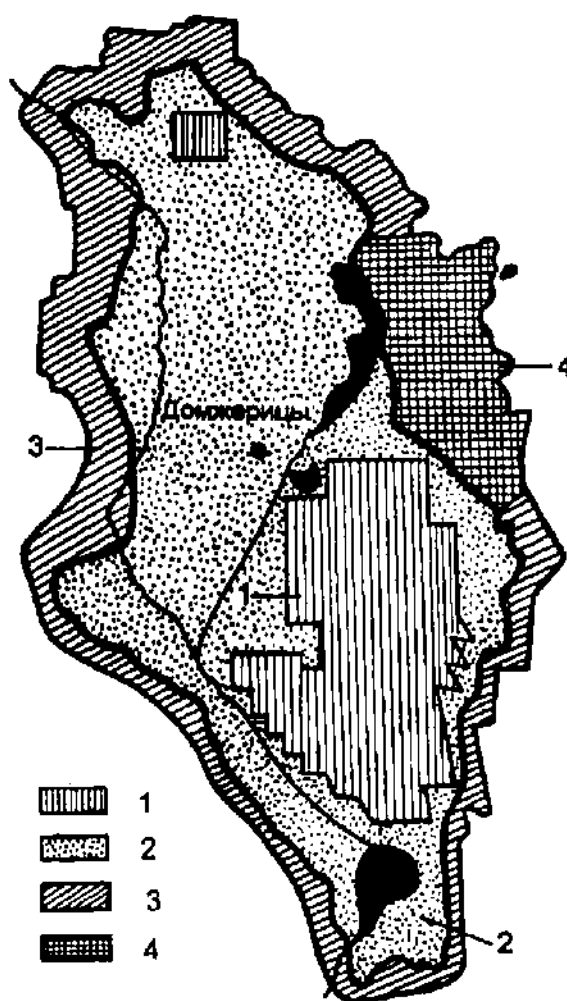


Рис. 9.1. Схема зонирования Березинского биосферного заповедника:

1 — абсолютно заповедная зона (ядро); 2 — буферная зона; 3 — охранная зона;
4 — охотничье хозяйство

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 70-х гг. прошлого века. 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.

9.6. Охраняемые территории Беларуси

*Берегите землю!
Берегите
Жаворонка в голубом зените,
Бабочку на листьях повилики,
На тропинке солнечные блики,
На камнях играющего краба,
На могиле тень от баобаба,
Ястреба, парящего над полем,
Полумесяц над речным покоем,
Ласточку, мелькающую в жите.
Берегите Землю! Берегите...*

М. Дудин

В Беларуси проблемы охраны природной среды стали подниматься только в 20-е гг. прошлого столетия. 30 января 1925 г. в 120 км севернее г.Минска в верхнем течении реки Березина

был создан Березинский биосферный заповедник – первая 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-ясеневых лесов и обширных болот.

Главной лесообразующей породой заповедника является сосна. Она занимает около половины всей лесопокрытой площади. Сосновые насаждения простираются на территории заповедника широкой полосой с севера на юг. Наиболее распространенные из них – вересковые и мшистые – занимают почти треть площади всех сосняков. Это излюбленные места поселения лис и барсуков. В рыхлом песчаном грунте они устраивают себе уютные норы.

По мере понижения местности вересковые боры сменяются брусничными, черничными. Сосны в таких местах становятся выше, стройнее. В насаждениях появляются береза, ель, которые при переходе к сфагновым болотам опять исчезают, уступая место карликовой сосне.

Самое обширное болото заповедника – Домжерицкое. Это царство безраздельного господства сосны, и лишь там, где минеральная «подушка» на этих почвах близка к поверхности, а почва подпитывается грунтовыми водами, к сосне примешиваются береза, ель, реже – осина. Покров таких насаждений, кроме сфагнума, составляют также багульник, голубика, осоки.

Сосняки сфагновые занимают в заповеднике 11 тыс. га.

Елово-широколиственные леса произрастают в заповеднике на островах, грядах, среди сфагновых болот и ольховых топей. В их составе дуб, клен, липа, осина, береза. Подлесок состоит из лещины, рябины, черемухи, крушины и малины, а в покрове много зеленчука, майника, сочевичника. Это – самые богатые насаждения. Смешанные древостои их дают приют и пищу многим видам животных. Любит эти места и хозяин березинских лесов – бурый медведь. Он только ранней весной посещает сфагновые болота, питаясь прошлогодней клюквой, а летом здесь вдоволь малины, черники, орехов, желудей.

Но таких насаждений в заповеднике мало. Здесь чаще попадаются елово-мелколиственные древостои. Они тенисты, мрачны и очень густы. Лишь изредка хрустнет где-то ветка, да среди ветвей с шумом вспорхнет рябчик.

Самые распространенные из ельников – черничниковые и кисличниковые. Именно здесь, среди покрова кислицы обыкновенной, еще с третичного периода геологической истории Земли сохранилось растение – линнея северная. Эту небольшую травку очень любил сам король ботаники – Карл Линней. На многих рисунках того времени он изображен с линнеей в руках. Именно в его честь она так и названа.

Преобладающими насаждениями юга и юго-востока заповедника, занимающими около 11 тыс. га, являются ольшаники (массивы черной ольхи) на торфяно-болотных почвах. Их часто посещают лоси и косули. Они находят здесь обильный корм и спасаются от назойливых оводов.

В заповеднике обнаружены интересные растения: орхидея севера – венерин башмачок, довольно редко встречающийся в лесах нашей республики, а возле деревни Селец – зубянка луковичная, медвежий лук и другие растения.

На территории заповедника 73 речки и ручья. Большинство их здесь же и берет начало, питаясь из обширных болот, занимающих 46 тыс. га. В отличие от Беловежи здесь есть и озера. Самые крупные из них – Ольшица, Плавно, Манец, Домжерицкое – соединены между собой рекой Сергуч. Озера в основном мелководны. Берега их плоские и почти повсеместно заболочены.

Наиболее интересное озеро Плавно: северо-восточная часть его несет свои воды в Балтийское море, юго-западная – в Черное, а река Сергуч, впадающая в это озеро, является по существу притоком двух морей.

Реки, озера и каналы в заповеднике с зарослями ивняков, ольхи, осины заселены речным бобром. Иногда бобры строят свои хатки в отдалении от водоема, соединяя их каналами. Нередко от бобровой хатки отходит целая сеть каналов. Очень интересны бобровые плотины, построенные животными для регулирования уровня воды. Некоторые из них имеют длину в десятки и даже сотни метров.

В заповеднике имеется музей, где представлены искусно выполненные чучела птиц и зверей. Имеется научный гербарий.

В 1979 г. Березинский заповедник в числе первых заповедников бывшего СССР получил статус биосферного и был включен в мировую сеть биосферных заповедников. На его базе в 1983 г. был проведен I Международный конгресс по биосферным заповедникам.

Природоохранная деятельность 20–30-х гг. XX в. проводилась в основном на базе опытных лесных станций – Жорнов-

ской, Горецкой, Велятичской, которые в 1926 г. были объединены в Центральную лесную опытную станцию. В 1939 г., после воссоединения с Западной Белоруссией, государственным заповедником была объявлена белорусская часть Беловежской пуши.

Леса Беловежской пуши тянутся почти на 70 км с севера на юг, занимая в бассейне Буга и Нарева более 87 тыс. га. Местность равнинная с небольшими холмами и впадинами. Озер нет. Водный режим территории регулируют 16 рек. Некоторые из них берут начало здесь же, в пущанских болотах.

Лесные насаждения необычайно богаты. Большую половину всей лесной площади занимает сосна, остальную часть территории – ольха, ель, береза, дуб.

Пуща – это оригинальный природный комплекс. Располагается она как бы на стыке разных растительных зон. Здесь соседствуют дуб скальный и плющ обыкновенный с ивой лапландской и березой карликовой. Манжетка балтийская растет в пуще в 250 км к западу от границ своего основного ареала, а осока болотолюбивая – в 380 км к югу; встречаются такие редчайшие растения, как валериана двудомная и астрагал песчаный.

Необычайное сочетание растений – представителей юга и севера, приморского и континентального климата – характерная черта растительности пуши.

Но более всего знаменита пуща зубрами – современниками мамонтов. С этими животными связана вся ее история. Говорят, что именно зубры «спасли» пущу, а она сохранила их.

Первое упоминание о пуще относится к IX в. Тогда лесной массив начинался от берегов Балтики и простирался далеко на юг. В нем водились туры, тарпаны, зубры, лоси, кабаны, медведи и другие дикие животные. Нынешняя Беловежская пуща лишь маленькая частица того огромного и как бы растаявшего за многие века лесного массива. Название это пошло от сторожевой башни – «Белая вежа», построенной Владимиром Волынским у слияния рек Лесной и Белой.

Древостой пуши, как ландшафтные парки, отличаются необычайной красотой лесных пейзажей. Вот перед вами сосновый бор с блестящим, почти золотистым ковром лесной подстилки из хвои, а за ним виднеется темная стена ельника, за которой вдруг брызнет белизной березняк, а вот зеленая дубрава...

То там то здесь попадаются лощины, поляны, луга, серебрятся ручьи и кажется необычайным, сказочным все это разнообразие пейзажей и смена красок. А неумолкаемый гомон птиц и прозрачный, напоенный ароматом цветов и трав воздух, делают пущу какой-то празднично-нарядной, радостной.

Дороги в пуще проложены по просекам. Зелеными коридорами они рассекают древний лес. Кроны деревьев вверху смыкаются и образуют туннели. Лучи

солнца только кое-где проникают сквозь ветви и при легком дуновении ветерка рассыпаются, теряясь в густых зарослях. В некоторых местах было бы совсем мрачно, но темный часток елей вдруг сменяется нежной зеленью граба.

Большой популярностью в пуше пользуется музей, расположенный в поселке Каменюки Каменецкого района Брестской области. В нем представлены различные растительные сообщества, животный мир. Здесь можно получить любую справку о Беловежской пуше – рассказ ведут опытные экскурсоводы, научные работники.

В 1991 г. на базе Государственного заповедно-охотничьего хозяйства «Беловежская пуца» создан первый белорусский национальный парк с одноименным названием. Его площадь составляет 101 тыс. га (на 01.01.1999 г.). В 1992 г. решением ЮНЕСКО под номером 73 Государственный национальный парк «Беловежская пуца» включен в Список всемирного наследия человечества.

В 1995 г. вслед за национальным парком «Беловежская пуца» был создан **национальный парк «Браславские озера»**, расположенный на северо-западе Беларуси на Браславской возвышенности. Общая площадь парка составляет 69,12 тыс. га, из них лесопокрытые площади – 56,41 тыс. га, площадь водоемов и водотоков – 12,6 тыс. га. Самыми привлекательными природными особенностями национального парка являются его рельеф и озера. Озера гидрологически объединены в группы, среди которых выделяется Браславская. 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 1969 г. был организован **Припятский ландшафтно-гидрологический заповедник** площадью 60,3 тыс. га. Он располагается на землях древнего Туровского княжества и объединяет сохранившиеся полесские болота и естественную пойму реки Припять. 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 гг. XX в. В заповеднике сохранились уникальные крупные массивы пойменных дубрав, единственных в 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 – вертявой камышовки. По оценкам ученых Института зоологии НАН Беларуси, около половины мировой популяции вертявой камышовки обитает в Белорусском Полесье. В 1996 г. на базе Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника организован **национальный парк «Припятский»**. Общая площадь парка на 01.01.1999 г. составляла 82,5 тыс. га – 1,35 % от общей площади Белорусского Полесья. Территория парка представляет собой обширную равнину с общим уклоном к долине Припяти.

В 1988 г. после чернобыльской катастрофы на месте земель, отчужденных из сельскохозяйственного использования, был создан **Полесский радиационно-экологический заповедник**.

Национальный парк «Нарочанский» образован в 1999 г. Он расположен на территории Минской области. Его общая площадь составляет 94,0 тыс. га. Основной целью создания Национального парка явилось сохранение уникальных природных комплексов. Жемчужиной Нарочанского края является озеро Нарочь – самый крупный естественный водоем республики, который наряду с другими озерами Мястро, Баторино и Бледное образует Нарочанскую группу озер.

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.

Среди множества заказников, организованных на территории республики, настоящей жемчужиной выделяется **Свитязьский ландшафтный заказник**.

Озеро Свитязь находится почти в центре Новогрудской возвышенности. Его площадь около 170 га, и оно имеет округлую форму. Наибольшая глубина озера 15 м. Озеро обрамлено массивным изумрудным ожерельем – плотным кольцом леса километровой ширины.

Вода в Свитязи кристально чистая. В ясные, солнечные дни Свитязь просматривается до самого дна – тоже необычайно чистого, устланного песком. Наличие незначительного количества щелочных элементов не только не портит вкуса воды, но и придает ей приятную мягкость.

Озеро Свитязь образовалось в результате провала четвертичных отложений в подземные пустоты. Утверждение геологов о происхождении этого уникального водоема вполне согласуется с легендой, использованной Адамом Мицкевичем в балладе «Свитязь». Вот она. На город нападает вражеское войско. Гордые свитязяне предпочитают смерть позорному рабству: по их мольбе город провалился в бездну и похоронил завоевателей. Погибли и сами свитязяне, но затем заново возродились в виде цветов, украшающих озеро. Кое-кто уверяет даже сейчас, что в ясную и тихую погоду можно увидеть на дне озера мостовую бывшего города.

Озеро объявлено заказником вместе с лесным массивом площадью 847 га. Здесь смешанные насаждения из дуба, ели, граба, ясеня, клена, осины на небольших площадях чередуются с чистыми сосняками, ольшанниками, березняками, образуя более 25 различных типов леса. В хорошо сохранившихся лесах много черники, брусники, земляники; на торфяных лугах интересные насекомоядные растения – росянка круглолистная и жирянка обыкновенная, а в лесных зарослях среди большого разнообразия травянистой растительности – редкие орхидеи.

Красивая холмистая местность, живописные берега, богатая лесная растительность, среди которой выделяются могущественные дубы-гиганты, замечательная легенда о непокоренном городе и вековые загадки озера привлекают сюда множество туристов. Они обычно останавливаются там, где старый шлях Барановичи–Новогрудок, пересекая лесной массив, проходит у самого берега озера и лишь небольшая полянка, редко усаженная дубами, отделяет его от воды. Именно среди этих дубов бродил Адам Мицкевич, сочиняя свою бессмертную балладу «Свитязянка» о трагической судьбе двух влюбленных:

Плещут, исполнены гнева;
Мчатся по ним две знакомые тени –
Юный стрелок то и дева!

Таким образом, на территории Беларуси в настоящее время действуют 2 государственных заповедника (Березинский биосферный и Полесский радиационно-экологический), 4 национальных парка («Беловежская пуща», «Браславские озера», «Припятский», «Нарочанский»), а также 94 заказника и 95 биологических памятников республиканского значения.

Площадь заповедников и национальных парков составляет 481,2 тыс. га, или 2,32 % территории. Всего система особо охраняемых территорий Беларуси включает в себя 1313 объектов, общей площадью 1500 тыс. га, или 7,2 % общей площади республики.

9.7. Охрана и защита лесов Беларуси

Когда дикарям хочется завладеть плодами, они срубают дерево.

Шарль Монтескье

Среди растительных ресурсов Беларуси особое место занимает лес.

Как экологическая система он выполняет различные функции, причем значение средозащитной функции леса, т.е. сохранность генофонда флоры и фауны, на порядок выше их экономического значения как источника сырья и продуктов.

Роль лесов и влияние их на окружающую природную среду многообразны. Значение лесной растительности проявляется в том, что леса:

- являются основным поставщиком кислорода на планете;
- непосредственно влияют на водный режим лесных и прилегающих территорий;
- снижают отрицательное воздействие засух и суховеев, сдерживающих движение подвижных песков;
- смягчают климат и тем самым способствуют повышению урожаев сельскохозяйственных культур;
- поглощают и преобразовывают часть атмосферных химических загрязнений;
- защищают почвы от водной и ветровой эрозии, селей, оползней, разрушения берегов и других неблагоприятных процессов;
- создают нормальные санитарно-гигиенические условия, благотворно влияют на психику человека, имеют огромное рекреационное значение;
- являются источником пищевых ресурсов для человека.

Лесной покров играет огромную средообразующую роль. Леса влияют на газовый баланс и состав атмосферы, водный и тепловой режим земной поверхности, формируют и сохраняют почвенный покров, регулируют численность и разнообразие животного мира. Лес дает человеку не только строительный материал и топливо. Он служит источником получения бумаги, скипидара, канифоли, глицерина, моющих веществ, смолы, кормовых дрожжей, хвойно-витаминной муки, дубителей, эфирных масел и многого другого. Расчеты показали, что человек в течение своей жизни использует в среднем око-

ло 200 деревьев, из которых производятся мебель, игрушки, бумага, спички, газеты, карандаши, дрова и т.д.

Современный естественный растительный покров занимает 67,1 % территории Беларуси и представлен лесами (36,0 %), лугами (17,2 %), болотами (12,4 %) и кустарниковыми зарослями (3,0 %). Общая площадь земель лесного фонда составляет 8,9 млн га (табл. 9.1).

Таблица 9.1. Лесной фонд Республики Беларусь, его охрана и восстановление

Показатели	1988 г.	1994 г.	1999 г.	2010 г (прогноз)
Общая площадь лесного фонда, тыс. га	8055,0	8676,0	8932,7	9000,0
Общий запас лесонасаждений, млн м ³	925,0	1093,0	1126,0	—
Расчетная лесосека по главному пользованию, тыс. м ³	6209,0	5300,0	6380,0	9960–10 750
Объемы главного пользования (фактическая рубка), тыс. га	5611,0	4377,0	4469,0	9960–10 750
Площадь рубок ухода за лесом и выборочных санитарных рубок, тыс. га	304,8	256,4	236,0	50–51
Площадь очистки леса от захламленности, тыс. га	45,7	115,9	—	69–70
Лесовосстановление, тыс. га	30,1	22,5	32,4	49–50
Защита леса от вредителей и болезней биологическим методом, тыс. га	14,1	42,4	9,1	17–19
Авиационная охрана леса от пожаров, млн га	7,1	7,0	7,2	6,7

С самых первых шагов заселения территории Беларуси человеком, а произошло это в среднем палеолите – 100–40 тыс. лет тому назад, он начал оказывать определенное влияние на природные комплексы данного региона и их компоненты. Сначала это проявлялось как локальное воздействие на отдельные виды животных и растений в форме охоты, рыболовства или собирательства.

Леса покрывали почти всю территорию нынешней Беларуси, за исключением отдельных болот и участков в поймах крупных рек. Целенаправленное воздействие человека на леса началось примерно 3500–4000 лет тому назад, когда стало развиваться земледелие, а с наступлением железного века

(2500–2700 лет тому назад) оно многократно возросло. С переходом наших предков от звероловства и скотоводства к земледелию леса стали уничтожаться, и территория, занятая ими, превращалась в сельскохозяйственные угодья: поля, луга и выгоны. Этот процесс уничтожения лесов за счет новых земледельческих угодий совершался весь исторический период вплоть до наших дней.

Ко времени возникновения первых феодальных центров (около 1 тысячелетия н.э.) на территории Беларуси уже были отдельные малолесные районы.

Однако изменения растительности, вызванные человеком, вначале были невелики, так как нарушенные леса восстанавливали свой первоначальный облик. Можно считать, что так продолжалось до конца XV–XVI вв., когда через территорию Беларуси потянулись оживленные транспортные 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 пойменные леса, большая часть которых исчезла и уже не восстановима.

Наибольший вред природе причинила хищническая эксплуатация лесов в начале XX в., когда на долю Беларуси приходилось до 1/4 общероссийского экспорта леса; торговля лесом была основной статьей доходов в ее экономике. Рубка леса и отсутствие всяких работ по его восстановлению приводили к катастрофическому снижению лесистости территории Беларуси: в 1840 г. она составляла 45,6 %, в 1882 – 45, в 1887 – 41, в 1901 – 37, в 1907 – 32, в 1914 г. – 28,4 %. Такое отношение к лесу нанесло огромный ущерб природе Беларуси.

К 1917 г. лесистость достигла минимального за всю историю уровня – 22 %, сильно обеднела охотничье-промысловая и другая фауна, имелось большое количество необлесенных земель и подвижных песков, резко ухудшились эстетические и оздоровительные качества окружающей среды, под угрозой оказались почти все воспроизводственные силы природы. К 1939 г. лесистость Беларуси благодаря лесовосстановительным работам достигла 30,4 %, а после воссоединения западных областей составляла 26,7 %. Много лесов было вырублено и уничтожено пожарами во время Великой Отечественной войны, в то же время зарастали лесом брошенные поля, часть которых затем не была распахана.

После войны лесистость Беларуси постепенно повышалась и достигла к настоящему времени более 1/3 площади республики. Были восстановлены до промысловой численности некоторые ценные животные (кабан, лось, олень, косуля, бобр), спасен зубр, однако продолжала снижаться численность ранее массовых охотничьих видов: глухаря, тетерева, водоплавающей и водно-болотной дичи, зайцев и др.

Благодаря географическому положению и различию природных условий растительный покров республики характеризуется довольно большой пестротой.

Хотя лесами покрыто более 1/3 территории, их распределение очень неравномерно. В настоящее время леса занимают главным образом песчаные равнины и заболоченные низины. Крупных лесных массивов относительно немного, но нет и абсолютно безлесных районов. Самые большие лесные участки сохранились в западной части Гомельской и Могилевской, в восточной части Минской и северо-восточной части Брестской областей. В некоторых районах Полесья и в бассейне Березины лесистость превышает 50 %. Меньше всего лесов в Гродненской области.

Почти все леса в той или иной мере вырубались, а затем возобновлялись преимущественно естественным, а также искусственным (с помощью лесных культур) путем.

В западной части Беларуси большинство районов сравнительно малолесные. Лесистость в среднем равна 26,4 %, причем на Гродненской возвышенности она составляет всего 5,4 %. Здесь благодаря своему исключительному значению сохранился единственный крупный лесной массив – Беловежская пушча.

Северная часть Беларуси в целом довольно лесистая. Почти сплошные леса покрывают бассейны притоков Западной Двины, Дриссы, Полоты, Сосницы. На Верхнеберезинской низине леса занимают свыше 40, а вместе с болотами около 80 % территории. Здесь расположен Березинский биосферный заповедник.

Из всех возвышенностей Беларуси наиболее лесиста Минская, однако ее южная часть малолесна.

В восточной части Беларуси леса сохранились отдельными небольшими разобщенными участками и только в южной части – в междуречье Сожа и Беседи – они представлены довольно крупными массивами.

На юге Беларуси, в Полесской низменности, лесные массивы соединяются друг с другом почти на всем протяжении с за-

пада на восток, причем западная часть низменности значительно менее лесиста, чем восточная. Наиболее лесиста центральная часть Полесья.

Хвойные леса Беларуси представляют формации сосновых и еловых лесов, которые составляют соответственно 57,6 и 9,5 % современного лесного покрова. Сосновые леса довольно равномерно распределены по всей территории. Среди них различают боры – монодоминантные (преобладает один вид) сосновые фитоценозы, иногда с небольшой примесью березы, и субори – сосняки с примесью ели и дуба, которые обычно располагаются во втором ярусе.

Основная часть еловых лесов находится на севере Беларуси, в Белорусском Поозерье. В Полесье ельники встречаются изредка небольшими изолированными участками, большинство из которых находятся под охраной как памятники природы.

Широколиственные леса в Беларуси представлены дубовыми, ясеневыми, грабовыми лесами и некоторыми другими (кленовыми, липовыми, вязовыми), не имеющими большого влияния в определении общей структуры лесов Беларуси, не представляющими большой научный интерес и нуждающимися в охране.

Важной частью лесных ресурсов являются недревесные ресурсы. К ним относятся пищевые (ягодные, плодовые), лекарственные, технические, кормовые и другие растения и грибы. Из ягодных лесных растений в Беларуси основными являются клюква, черника, брусника, голубика, а из плодовых – рябина, шиповник. Площади грибных угодий составляют 30–35 % от площади древостоев.

В настоящее время в структуре лесной растительности Беларуси наблюдается неравномерность распределения лесов: некоторые районы сильно обезлесены. Около 1/5 площади, покрытой лесными насаждениями, находится под лесокультурами, т.е. занято малопродуктивными неполноценными насаждениями. Сокращается площадь насаждений, где преобладают такие хозяйственно важные породы, как дуб, граб, ясень и др. В то же время увеличивается площадь под малоценными мелколиственными насаждениями (березняки и осинники). Большая площадь занята молодыми насаждениями.

Лесное законодательство Республики Беларусь направлено на обеспечение рационального использования лесов, защи-

ту и воспроизводство лесных экосистем. Основой охраны последних являются разработка и осуществление комплекса организационных, правовых и других мер, обеспечивающих сохранение лесного фонда и его рациональное использование. Значительное внимание в республике уделяется мероприятиям по борьбе с вредителями и болезнями леса. В их основе лежат биологические и химические методы борьбы с вредными насекомыми, причем преобладает биологический метод.

9.8. Охрана и защита животного мира

*Из-за елей хлопочут двустволки –
Там охотники прячутся в тень, –
На снегу кувыркаются волки,
Превратившись в живую мишень.
Идет охота на волков, идет охота...*

Владимир Высоцкий

Биологические ресурсы, непосредственно используемые в охотничьем, рыбном и других видах хозяйства, основой которых является промысел, относятся к ресурсам животного мира. К сожалению, на нашей планете все меньше остается мест, где обитают дикие животные без опасения быть уничтоженными или согнанными со своих мест человеком. Все большую площадь жизненно важного пространства для животных занимают города и сельскохозяйственные угодья. Именно поэтому в настоящее время происходит резкое сокращение и исчезновение многих видов диких животных.

Животный мир представляет собой весьма важную часть биосферы. Животные располагаются на верхних этажах экологических пирамид. Те из них, кто питается растениями (фитофаги), являются промежуточным звеном передачи солнечной энергии от растений к хищникам. Разнообразие животных многообразно и впечатляюще. Официальные цифры статистики сообщают, что в настоящее время на земном шаре описано свыше 1,5 млн видов животных. А сколько еще представителей животного мира не открыты человеком! А сколько погибают безымянными! Вырубка лесов, уничтожение естественных ландшафтов приводят к тому, что животные, обитающие там и не описанные человеком, погибают вместе с древесными исполинами влажных тропических лесов. Считается, что во всей Амазонии (бассейн реки Амазонка) проживает

около 1 млн насекомых, не известных науке. Уничтожая тропические леса, человек уничтожает местообитания различных животных, вынуждая их исчезать с лица нашей планеты.

Так, с территории островного государства Сингапур тигры исчезли более 60 лет назад. Последний сингапурский полосатый хищник был убит в 1932 г. Попытки каким-то образом восстановить присутствие тигра в Сингапуре не привели ни к каким успехам. Поэтому уже во многих странах мира дикие животные взяты под строгий учет и контроль. В Австрии дикие медведи – национальное достояние. В количестве 22 штук живут они в предгорьях Альп и находятся под неусыпным наблюдением ученых и врачей и круглосуточной охраной спецотрядов егерей.

В графстве Бэкингемпшир (Англия), там, где шоссе пересекало болотистую местность, за год машины уничтожали до 20 тыс. лягушек и жаб. По требованию жителей в 1987 г. под дорогой были проложены трубы для свободной миграции лягушек и других обитателей водоемов. Диаметр подземного перехода 20 см, он выложен пенобетоном, который постоянно увлажняют.

Под американскими автострадами обязательно строят подземные переходы для диких животных. Один такой переход обходится более чем в 1 млн долларов. Установленные под одной из автодорог Флориды автоматические фотокамеры за время работы зафиксировали проходящих по переходу 10 пантер, 9 аллигаторов, 367 оленей, 133 рыси, 167 енотов, 2 черных медведей, множество собак и птиц. Так в цивилизованных странах охраняют природу.

Роль животного мира многообразна. Животные участвуют в формировании ландшафта. За счет морских одноклеточных образуются осадочные породы. Коралловые полипы в теплых морях и океанах формируют многочисленные коралловые острова. Животные играют огромную роль в образовании почв. В почве обитают простейшие, круглые и кольчатые черви, коллемболы, клещи, насекомые и их личинки. Различные млекопитающие разрыхляют почву и способствуют проникновению в нее воздуха, влаги, органических веществ.

Неоценима роль животных в жизни растений. Без непосредственного участия в процессе жизнедеятельности растений, насекомых, птиц, летучих мышей – продолжение их рода было бы невозможным. Причем одни растения непосредственно участвуют в опылении и оплодотворении цветковых расте-

ний, другие же (в том числе, крупные млекопитающие и птицы) способствуют распространению плодов и семян. Взаимодействуя с растениями, животные участвуют в круговороте веществ в природе и играют большую роль в поддержании динамического равновесия в биосфере.

Многие виды животных служат для человека источником белкового питания и жира. Сельскохозяйственные животные, промысловые звери, рыбы, птицы, некоторые беспозвоночные — это все звенья одной природной цепи, без которых человеку не выжить.

На территории Беларуси к охотничье-промысловым позвоночным относятся 22 вида млекопитающих (среди них лось, кабан, заяц, бобр, белка, волк, лисица), 31 вид птиц (кряква, серая утка, чирок-свистунок, красноголовая и хохлатая червень и т.д.), 1 вид рептилий (жаба обыкновенная), 1 вид беспозвоночных (виноградная улитка). Из 45 местных видов рыб наиболее промысловое значение имеют 20–25 видов. Это щука, судак, лещ, налим, сом, плотва, окунь, густера и др. Одним из наиболее ценных видов промысловых пресмыкающихся является гадюка обыкновенная. Ежегодно из природного окружения безвозвратно изымается 1–2 тыс. особей этого вида для промышленного производства и переработки змеиного яда.

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, в 2000 г. численность охотничьих видов животных в Беларуси составила: заяц — 238 тыс., белка — 112 тыс., ондатра — 54 тыс., тетерев — 52 тыс., косуля — 51 тыс., лисица — 44,5 тыс., кабан — 35 тыс., бобр — 29,5 тыс., куница — 22 тыс., лось — около 17 тыс., норка — 17 тыс., глухарь — 8,6 тыс., олень — 6 тыс., волк — 1,7 тыс.

Показателем биологического разнообразия животного мира Беларуси является наличие в его составе 457 видов позвоночных животных и более 20 тыс. беспозвоночных. Млекопитающих в фауне Беларуси — 73 вида. В республике встречаются такие редкие виды животных, как зубр, бурый медведь, рысь, выдра, беркут, орлан-белохвост, глухарь, вертялка, камышовка, серый журавль и др.

Для сохранения диких животных редкие и вымирающие виды их заносятся в Красную книгу. Они нуждаются в тщательной охране. В настоящее время в Красную книгу Беларуси включено 182 вида животных. Наиболее ощутимое воздействие на большинство хозяйственно ценных животных

оказывает прямое изъятие их в процессе охоты. Большое значение имеет изменение условий их местообитания. Именно с антропогенными изменениями естественных биоценозов связано сокращение на территории Беларуси таких редких хищников, как бурый медведь и рысь. Плохо контролируемая охота и браконьерство приводят к резкому снижению многих ценных в хозяйственном отношении видов. Это касается таких животных, как выдра, лось, глухарь, бобр.

Зачастую неоправданная хозяйственная деятельность человека (вырубка лесов, осушение болот, зарегулирование стока рек) привела к тому, что за последние 50–100 лет из водоемов республики исчез ряд видов рыб, таких, как речная минога, белуга, рыбец, лосось, кумжа и др.

Одним из ярких примеров отрицательных последствий неправильного, нерационального лесопользования является процесс быстрого и неуклонного исчезновения полесской популяции глухаря, который особенно чувствителен к неблагоприятным последствиям.

Важнейшей мерой охраны животного мира является строгое соблюдение законов об охоте, предусматривающих сроки и способы добывания промысловых животных.

Основные направления политики Республики Беларусь в области природопользования и охраны окружающей среды нашли отражение в Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь (1997). Она предусматривает следующие направления деятельности по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия Республики Беларусь:

- формирование политики и совершенствование законодательства в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия (предусматривает принятие законов, связанных с вопросами рационального природопользования, таких, как Закон об улучшении и восстановлении природных ресурсов, Закон о платежах за использование природных ресурсов и др.);

- развитие управления и экономического регулирования использования биоразнообразия;

- развитие фундаментальной и прикладной науки в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия;

- развитие системы особо охраняемых территорий и сохранение видов;

- экологическое совершенствование научно-технической и технологической деятельности, оптимизация использования

природных ресурсов в различных социально-экономических секторах (предусматривает разработку мер по снижению негативного влияния различных форм хозяйственной деятельности на биоразнообразие);

■ экологическое образование, воспитание и просветительская деятельность; подготовка кадров (предусматривает разработку и создание системы подготовки специалистов на базе высшей школы, а также создание системы обязательного экологического образования на основе единой программы и типовых учебных пособий для начальной и средней школы).

9.9. Мониторинг окружающей среды

*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, молодых полей отраду,
И мразов ранний хлад, опасный винограду.*

А.С. Пушкин

Изменения в окружающей среде всегда привлекали к себе внимание человека, прежде всего с точки зрения его хозяйственных интересов.

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.

Люди пытались предсказывать погоду всегда. В древние времена это, правда, больше походило на гадание. Слово «метеорология» упоминается еще у Платона. Тогда оно озна-

чало свободную дискуссию на тему небесных явлений. Две с половиной тысячи лет назад в греческих городах-государствах на всеобщее обозрение выставлялись парапегмы – таблицы, в которых описывались климатические условия прежних лет, сообщалось об их особенностях – бурях, туманах, грозах, ливнях. Считалось, что это может помочь в предсказании погоды на ближайшее будущее. В средние века погоду предсказывали по движению звезд, поведению диких животных, облику растений.

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 уже давно наблюдаем изменения состояния биосферы под влиянием деятельности человека. Теперь такие 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 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. На научном языке этот термин обычно понимается как «проверка, слежение, контроль».

Основной принцип мониторинга – непрерывность слежения. Эффективность мониторинга определяется рациональным выбором и достаточной плотностью контрольных пунктов наблюдения, а также эффективной организацией автоматического получения, обработки первичных данных и выдачи информации (рис. 9.2). Задачи, которые призван решать мониторинг, могут быть различной степени сложности и широты охвата. Соответственно этому обычно выделяют три уровня, или три ступени, мониторинга.

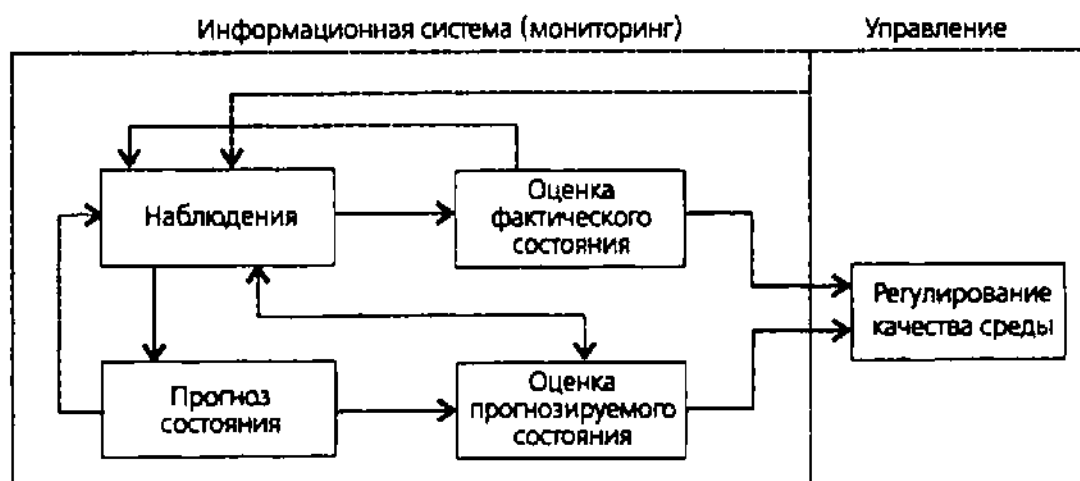


Рис. 9.2. Структурная схема системы мониторинга

Первая ступень – местный, или локальный, биоэкологический мониторинг, в котором состояние окружающей среды оценивается с позиций ее влияния на человека. Поэтому мониторинг проводят, учитывая показатели, отражающие реакцию человека на изменения среды: заболеваемость, смертность, рождаемость, продолжительность жизни и т.д. В систему наблюдений входят те параметры, которые вызывают оцениваемые эффекты. В основном это различные опасные загрязнители среды техногенного происхождения. Естественно, что основная сеть пунктов наблюдения этой ступени мониторинга должна находиться в местах концентрации населения – районах наиболее интенсивной его деятельности. Большую помощь биоэкологическому мониторингу могут оказывать санитарно-эпидемиологические станции (СЭС), ветеринарные пункты, службы защиты растений.

Вторая ступень – региональный природно-хозяйственный мониторинг, включающий наблюдения за изменениями природных и антропогенных ландшафтов. В мониторинге этой ступени используют такие показатели, как количество биомассы, показатели энергообмена, величины ПДК загряз-

няющих веществ в природных и промышленных комплексах, способность комплексов к самоочищению. Наблюдения ведут на географических стационарах и специальных полигонах (тестовых участках). Географические стационары создают на территориях, типичных для ландшафтов данного региона. Стационарные исследования ведут на одном месте на протяжении длительного времени. Это дает возможность проведения анализа функционирования и динамики ландшафтов, выявления в них необратимых изменений и т.д. Тестовые участки предназначены для контрольных измерений и наблюдений по строго заданной ограниченной программе. На них разрабатывают тесты системы определений ПДК, биологической продуктивности, естественной способности к самоочищению, а также выбирают наиболее показательные параметры (индикаторы) для каждой системы определений. Измерения и описания, полученные на тестовых участках, рассматривают как характерные для ландшафта в целом. На этой ступени мониторинга используют также сеть метеорологических и гидрологических станций и постов, существующие опытные сельскохозяйственные станции, опытные лесничества.

Третья ступень – глобальный биосферный мониторинг. Его задача – обеспечить наблюдение (контроль) и анализ состояния, а также прогноз возможных изменений всей географической оболочки в результате деятельности человечества. На этой ступени контролируют и анализируют изменения глобальных параметров: прозрачность атмосферы и ее антропогенную трансформацию (превращения, вызванные человеческой деятельностью: задымленность, озоновый слой и др.); мировой водный баланс, загрязнение Мирового океана; энергообмен биосферы с космосом, антропогенные преобразования глобальных круговоротов химических веществ и т.д. Биосферный мониторинг ведется как дистанционными методами (например, с искусственных спутников Земли), так и контактными – с помощью наземной сети биосферных станций. Эти станции располагаются в различных природных зонах, которые отличаются степенью устойчивости ландшафтов к антропогенным воздействиям и характером хозяйственного использования, что позволяет сравнить скорость накопления и длительность сохранения загрязнителей в неоднородных природных условиях. Например, станции слежения за водной средой располагают на крупных реках, берегах озер, морей. Довольно часто пункты глобального мониторинга располагают на территориях биосферных заповедников.

Основная цель мониторинга – максимально раннее предупреждение нежелательных последствий антропогенного воздействия. Задачи мониторинга довольно широки. Необходимо не просто и не только 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.

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 процессы и последствия их 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 распространяющийся 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. Различают:

- **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.

Весьма интересные результаты можно получить с помощью методов космического мониторинга. Например, космические снимки и визуальные наблюдения, сделанные с борта американского космического корабля «Аполлон», позволили обнаружить, что значительную часть необработанных земель можно использовать. Если осушить 30 % затопляемых земель и распахать их, то это намного превысит площадь земель, используемых сейчас под сельскохозяйственные культуры. Напомним, что в настоящее время человечеством используется 30 % суши под сельхозугодья (20 % – пастбища и 10 % – пашня). Фотографии позволили, кроме того, обнаружить нашествие вредителей на поля и леса, в то время как по наземным наблюдениям не удавалось его прогнозировать. Следовательно, используя наблюдения со спутников, можно бороться против вредителей, наносящих огромный урон сельскому хозяйству, более эффективно.

Космический мониторинг в настоящее время используется для получения информации со спутников Земли, которая сообщает о приближении ураганов и торнадо.

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.

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 человеком.

При мониторинге окружающей среды выделяется несколько этапов его организации. 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. **Биогеоценологические стационары** – предназначены для выполнения детальных комплексных исследований экологических режимов и биологических процессов.

4. **Постоянные пробные площади** – основные объекты фитоценоотического и зоологического мониторинга на экологических профилях, биогеоценоотических 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 антропогенного 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 выходит, значит нужно принимать экстренные меры по защите природы.

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 охотничье хозяйство. 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 изучить природные процессы, получить полное знание о них и выбрать такие методы, которые позволят 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 тер-

ритории данного конкретного региона? Ведь ту или иную территорию, допустим, в черноземной зоне, в принципе, можно распашать полностью. Но если учесть неизбежную эрозию, появление оврагов и другие возможные последствия в развитии данной зоны, приходится решать, какую часть лесов вокруг тех же оврагов оставить, 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** (от лат. *lichen* – лишайник) – определение степени загрязнения природной среды с помощью лишайников. 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.

Объектами мониторинга могут быть 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 регионе некоторых промышленных центров – реакция на ухудшение освещения в результате загрязнения атмосферы.

В качестве биологического теста на чистоту воды могут использоваться «золотые» рыбки, которых выращивают в аквариумах любители этих экзотичных животных. Рыбок помещают в специальный аквариум с речной водой. Учувяв грязь, «золотые» рыбки начинают метаться, бьются о решетки.

Состояние довольно большой территории можно охарактеризовать с помощью анализа меда пчел. Американские исследователи 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 были 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

XXI в. поставил перед человечеством новые ориентиры. Это прежде всего приоритеты экологии и нравственности. Решение современных экологических проблем – это наипервейшая задача человека. К сожалению, ему уже не суждено вернуться назад, в лоно матери-природы. Это невозможно. Жесткие законы прогресса диктуют особое поведение человеческого существа в условиях надвигающейся экологической катастрофы. И вот здесь развитие нравственных начал позволит человеку с меньшими потерями для себя решать задачи жизнеутверждения на планете Земля.

Мировоззренческая роль современной экологии велика. Прежде всего, она дает человеку не разрозненные знания, а целостный взгляд на окружающий его реальный мир, мир живой природы. Экология возвращает человеку осознание единства всех форм жизни на Земле. Новое экологическое мышление требует понимания единства и нерасторжимости мироздания, и человек как носитель сознания должен нести ответственность за планету 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 их состояния. Исчезновение из экосистемы какого-либо вида растений или животных приводит к нарушению тонко отрегулированных пищевых цепей и выпадению в результате этого ряда организмов. Основа стабильности любой системы – разнообразие составляющих ее компонентов. Для экосистем – это биоразнообразие. Значит, любой вид живых организмов неповторим и бесценен для эволюции экосистем.

Выживание человека в современных условиях надвигающихся экологических потрясений зависит от багажа научных знаний и внедрения новых технических достижений. Но просто знаний недостаточно. Необходима гуманизация и экологизация знаний, когда достижения научной мысли соотносятся с экологическими требованиями к их применению.

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 остается может быть последний шанс для возрождения нашей планеты. Нужно торопиться, чтобы катастрофа не стала необратимой.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Автотрофные организмы – организмы, самостоятельно синтезирующие органические вещества из неорганических соединений 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, связанные происхождением с деятельностью и влиянием человека на окружающую среду.

Аутэкология – экологическая дисциплина, изучающая взаимоотношения организма (вида, особи) с окружающей его средой (см. 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.

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 (ср. Экотоп).

Биоценоз – системная совокупность (сообщество) популяций растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды. Состоит из продуцентов, консументов и редуцентов.

Воздействие антропогенное – влияние человечества на окружающую его среду, но не обязательно прямое.

Гелиофиты – растения открытых мест, не выносящие длительно-го 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 свободноплавающие 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.

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. 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 главной задачи 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 УФ-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 (SO_2 , SO_3 , NO_x , 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, просветительных и т.д.), обеспечивающих возможность сохранения ресурсо- и средовоспроизводящих функций природы, генофонда, а также невозобновляемых 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 (углекислого газа, метана, фтор- и хлоруглеродов).

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, 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, характеризующиеся отсутствием в клетках настоящего ядра с оболочкой, отделяющей его от цитоплазмы (бактерии).

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 абиотическая – силы и явления природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов; совокупность неорганических условий (факторов) обитания организмов.

Среда обитания биотическая – силы и явления природы, обязанные своим происхождением жизнедеятельности ныне живущих организмов. Совокупность живых организмов, оказывающих своей жизнедеятельностью влияние на другие организмы.

Стенобионты – организмы, требующие строго определенных условий существования.

Суккуленты – многолетние засухоустойчивые растения с толстыми мясистыми листьями (алоэ, агава) или стеблями (кактусовые), произрастающие в сухих местообитаниях; тип ксерофитов.

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 абиотические – проявления свойств неживой природы.

Факторы среды биотические – совокупность взаимоотношений, взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других.

Фитоценоз – совокупность популяций растений на относительно однородном участке земной поверхности; растительное сообщество.

Флуктуация – сравнительно краткосрочное, ненаправленное, различно ориентированное или циклическое изменение растительного сообщества (фитоценоза), завершающееся возвратом к близкому к исходному состоянию.

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.

Чапарраль – один из сухолутных 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.

Экологическая валентность – характеристика способности вида живого 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.

Экология – интегративная наука, изучающая взаимодействие живых организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой.

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.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Алексей Михайлович (1629–1676) – русский царь с 1645 г.

Альдрованди Улиссе (1522–1605) – итальянский натуралист

Аристотель (384–322 до н.э.) – древнегреческий философ и ученый

Астафьев Виктор Петрович (1924–1991) – русский писатель

Баратынский Евгений Абрамович (1800–1844) – русский поэт

Бёрнс Роберт (1759–1796) – шотландский поэт

Берталанфи 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

Браун Вернер фон (1912–1977) – специалист в области ракетной и космической техники (Германия, США)

Брем Альфред Эдмунд (1829–1884) – немецкий зоолог, просветитель. Автор многотомного издания «Жизнь животных»

Бродский Иосиф Александрович (1940–1996) – русский поэт, лауреат Нобелевской премии (1987)

Бутлеров Александр Михайлович (1828–1886) – русский химик-органик, основатель русской научной школы химиков

Бэр Карл Максимович (Карл Эрнст фон, 1792–1876) – русский естествоиспытатель, эмбриолог, ихтиолог

Бюффон Жорж Луи Леклерк де (1707–1788) – французский естествоиспытатель, зоолог

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 (1863–1945) – русский советский естествоиспытатель, основоположник геохимии, биогеохимии, радиогеологии и учения о биосфере

Воейков Александр Иванович (1842–1916) – русский географ, основоположник климатологии в России

Вольтерра Вито (1860–1940) – итальянский математик

Высоцкий Владимир Семенович (1938–1980) – русский поэт, актер, автор и исполнитель песен

Высоцкий Георгий Николаевич (1865–1940) – советский лесовед и почвовед

Габер Фриц (1868–1934) – немецкий химик-неорганик и технолог. Разработал каталитический метод синтеза аммиака из атмосферного азота и водорода, за что ему была присуждена Нобелевская премия (1918)

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

Геснер Конрад (1516–1565) – швейцарский естествоиспытатель, основатель ботанического сада и первого естественно-исторического музея в Цюрихе

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

Дарвин Эразм (1731–1802) – английский врач, натуралист и поэт, дед Ч. Дарвина

Докучаев Василий Васильевич (1846–1903) – русский естествоиспытатель, почвовед. Создал учение о географических зонах, дал научную классификацию почв

Дорст Жан (1924) – французский орнитолог, эколог

Заболоцкий Николай Алексеевич (1903–1958) – русский поэт

Зюсс Эдуард (1831–1914) – австрийский геолог. Обобщил представления о строении и развитии земной коры

Клементс Фредерик (1874–1945) – американский ботаник

Колумелла – римский писатель и агроном I в., автор сельскохозяйственной энциклопедии

Кольцов Алексей Васильевич (1809–1842) – русский поэт

Костычев Павел Андреевич (1845–1895) – русский ученый, один из основоположников современного почвоведения

Лавренко Евгений Михайлович (1900–1987) – советский геоботаник

Ламарк Жан Батист (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 Эдуар (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

Лихачев Дмитрий Сергеевич (1906–1999) – советский литературовед и общественный деятель

Ломоносов Михаил Васильевич (1711–1765) – русский ученый-естествоиспытатель, поэт, первый русский академик

Лосев Алексей Федорович (1893–1988) – советский философ и филолог

Лотка Альфред Джеймс (1880–1949) – американский математик, биофизик, эколог

Лукреций (Тит Лукреций Кар) – римский поэт и философ-материалист I в. до н.э.

Маргалев Рамон (1919) – испанский эколог, гидробиолог

Маркс Карл (1818–1883) – немецкий экономист, философ, общественный деятель

Мартынов Леонид Николаевич (1905–1980) – советский поэт

Мёбиус 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)

Моисеев Никита Николаевич (1917–2000) – советский математик

Монтескьё Шарль Луи (1689–1755) – французский философ и писатель

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)

Наумов Николай Павлович (1902–1982) – советский зоолог, эколог

Никитин Иван Саввич (1824–1861) – русский поэт

Ницше Фридрих (1844–1900) – немецкий философ

Ньюмен Арнольд (1941) – американский эколог, натуралист, вице-президент Международного общества по сохранению влажного тропического леса

Одум Юджин П. (1913–1991) – американский эколог и зоолог

Павлов Иван Петрович (1849–1936) – русский физиолог, создатель учения о высшей нервной деятельности, лауреат Нобелевской премии (1904)

Песков Василий Михайлович (1930) – русский писатель, журналист

Платон (428 или 427 до н.э. – 348 или 347) – древнегреческий философ, ученик Сократа

Плиний Старший (Гай Плиний Секунд) (23 или 24 – 79) – римский писатель и натурфилософ

Пришвин Михаил Михайлович (1873–1954) – русский писатель

Пушкин Александр Сергеевич (1799–1837) – русский поэт и писатель

Пфеффер Вильгельм (1845–1920) – немецкий биолог, физиолог растений

Раменский Леонтий Григорьевич (1884–1953) – советский ботаник и географ

Раункиер Кристен (1860–1938) – датский эколог и геоботаник

Реди Франческо (1626–1698) – итальянский естествоиспытатель и врач

Рей Джон (1627–1705) – английский натуралист

Реймерс Николай Федорович (1933–1993) – советский зоолог, эколог

Реомюр Рене (1683–1757) – французский естествоиспытатель

Рождественский Роберт Иванович (1932–1994) – русский поэт

Рулье Карл Францевич (1814–1858) – русский естествоиспытатель, биолог-эволюционист, один из основоположников палеоэкологии и эволюционной палеонтологии, создатель первой научной школы зоологов-эволюционистов

Свифт Джонатан (1667–1745) – английский писатель, политик, общественный деятель

Северцов Алексей Николаевич (1866–1936) – советский зоолог, эволюционист

Селье Ганс (1907–1982) – канадский врач, сформулировал концепцию стресса

Сен-Симон Клод Анри де Рувруа (1760–1825) – французский мыслитель

Серебряков Иван Григорьевич (1914–1969) – советский ботаник, морфолог растений

Сеченов Иван Михайлович (1829–1905) – русский естествоиспытатель, создатель русской физиологической школы

Скотт Роберт Фолкон (1868–1912) – английский исследователь Антарктиды. Руководил экспедицией, достигшей 18 января 1912 г. Южного полюса

Стеллер Георг Вильгельм (1709–1746) – немецкий путешественник и натуралист. 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

Твен Марк (1835–1910) – американский писатель

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. 1907) – нидерландский зоопсихолог и этолог. Разработал учение об инстинктивном поведении животных. Лауреат Нобелевской премии (1973)

Тодд Александер (1907–1997) – английский химик-органик. Лауреат Нобелевской премии (1957)

Толстой Лев Николаевич (1828–1910) – русский писатель

Турнефор Жозеф Питтон де (1656–1708) – французский ботаник и путешественник, пионер изучения вертикальной зональности растительного покрова

Тютчев Федор Иванович (1803–1873) – русский поэт

Уиттекер Роберт Хардинг (1920–1981) – американский эколог

Ушинский Константин Дмитриевич (1824–1870/71) – русский педагог

Фарб Жан Анри (1823–1915) – французский натуралист, основоположник современной энтомологии

Флеминг Александер (1881–1955) – английский микробиолог. Лауреат Нобелевской премии (1945)

Фурье Жан Батист Жозеф (1768–1830) – французский математик и физик

Хатчинсон Джордж (р. 1903) – американский эколог

Циолковский Константин Эдуардович (1857–1935) – русский ученый и изобретатель в области воздухоплавания, авиации и ракетной техники

Шварц Станислав Семенович (1919–1976) – советский зоолог, эколог

Шелфорд Виктор Эрнест (1877–1968) – американский зоолог, эколог

Шенбейн Кристиан Фридрих (1799–1868) – немецкий химик. В 1840 г. открыл озон

Эдберг Рольф (1912) – шведский дипломат, писатель, публицист, общественный деятель

Элтон Чарлз Сазерленд (1900–1968) – английский эколог, зоолог

Эрлих Пауль Ральф (1932) – американский энтомолог, эколог, эволюционист

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Агесс, П.* Ключи к экологии / П. Агесс. Л., 1982.
- Акимова, Т.А.* Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. М., 2006.
- Андерсон, Д.М.* Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек / Д.М. Андерсон. Л., 1985.
- Баландин, Р.К.* Область деятельности человека. Техносфера / Р.К. Баландин. Минск, 1982.
- Бигон, М.* Особи, популяции и сообщества: в 2 т. / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. М., 1986.
- Вернадский, В.И.* Биосфера / В.И. Вернадский. М., 1967.
- Вернадский, В.И.* Живое вещество / В.И. Вернадский. М., 1978.
- Войткевич, Г.В.* Основы учения о биосфере / Г.В. Войткевич, В.А. Вронский. Ростов н/Д, 1996.
- Вронский, В.А.* Прикладная экология / В.А. Вронский. Ростов н/Д, 1996.
- Вронский, В.А.* Экология: словарь-справочник / В.А. Вронский. Ростов н/Д, 2002.
- Галковская, Г.А.* Основы популяционной экологии / Г.А. Галковская. Минск, 2001.
- Гиляров, А.М.* Популяционная экология / А.М. Гиляров. М., 1990.
- Горелов, А.А.* Социальная экология / А.А. Горелов. М., 2005.
- Дажо, Р.* Основы экологии / Р. Дажо. М., 1975.
- Дювиньо, П.* Биосфера и место в ней человека: Экологические системы и биосфера / П. Дювиньо, М. Танг. М., 1973.
- Камшилов, М.М.* Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. М., 1979.
- Каталог биосферы.* М., 1991.
- Лапо, А.В.* Следы былых биосфер, или Рассказ о том, как устроена биосфера и что осталось от биосфер геологического прошлого / А. В. Лапо. М., 1987.
- Лосев, К.С.* Вода / К.С. Лосев. Л., 1989.
- Лукашев, К.И.* Тревоги и надежды: Изменяющаяся биосфера / К.И. Лукашев. Минск, 1987.

- Маврищев, В.В.* Общая экология / В.В. Маврищев. Минск, 2005.
- Маврищев, В.В.* Основы общей экологии / В.В. Маврищев. Минск, 2000.
- Маврищев, В.В.* Экология в терминах и понятиях / В.В. Маврищев. Минск, 2002.
- Нестеренко, В.Б.* Масштабы и последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Беларуси, Украины и России / В.Б. Нестеренко. Минск, 1996.
- Ньюмен, А.* Легкие нашей планеты / А. Ньюмен. М., 1989.
- Одум, Ю.* Экология: в 2 т. / Ю. Одум. М., 1986.
- Очерки по истории экологии. М., 1970.
- Пономарева, И.Н.* Экология растений с основами биогеоценологии / И.Н. Пономарева. М., 1978.
- Радкевич, В.А.* Экология / В.А. Радкевич. Минск, 1997.
- Реймерс, Н.Ф.* Азбука природы: Микроэнциклопедия биосферы / Н.Ф. Реймерс. М., 1980.
- Реймерс, Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. М., 1990.
- Реймерс, Н.Ф.* Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. М., 1994.
- Риклефс, Р.* Основы общей экологии / Р. Риклефс. М., 1989.
- Солбриг, О.* Популяционная биология и эволюция / О. Солбриг, Д. Солбриг. М., 1982.
- Стадницкий, Г.В.* Экология / Г.В. Стадницкий, А.И. Родионов. СПб., 1997.
- Сытник, К.М.* Биосфера. Экология. Охрана природы / К.М. Сытник, А.В. Брайон, А.В. Гордецкий. Киев, 1987.
- Уиттекер, Р.* Сообщества и экосистемы / Р. Уиттеркер. М., 1980.
- Федоров, В.Д.* Экология / В.Д. Федоров, Т.Г. Гильманов. М., 1980.
- Чернова, И.М.* Общая экология / И.М. Чернова, А.М. Былова. М., 2004.
- Чернова, И.М.* Экология / И.М. Чернова, А.М. Былова. М., 1988.
- Шилов, И.А.* Экология / И.А. Шилов. М., 2006.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ И ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИИ, ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ	5
1.1. Что такое экология? Предмет экологии. Экология как научная дисциплина.....	5
1.2. Краткая история экологического знания	13
1.3. Уровни организации живой материи и структура экологии ..	30
1.4. Основные экологические проблемы современности	37
ГЛАВА 2. СРЕДА ОБИТАНИЯ. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ .	40
2.1. Понятие о среде обитания. Абиотическая и биотическая среды	40
2.2. Автотрофные и гетеротрофные организмы	42
2.3. Водная среда.....	44
2.4. Наземно-воздушная среда.....	49
2.5. Почва как среда обитания.....	54
2.6. Живые организмы как среда обитания	58
2.7. Круговорот веществ и биогеохимические циклы важнейших химических элементов в биосфере.....	66
ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ	83
3.1. Понятие об экологических факторах	83
3.2. Классификация факторов среды. Абиотические факторы .	89
3.3. Биотические факторы	110
3.4. Антропогенные факторы	116
3.5. Концепция лимитирующих факторов	118
3.6. Биологические ритмы и фотопериодизм	125
3.7. Жизненные формы организмов.....	131
ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ	138
4.1. Определение популяции	139
4.2. Пространственная структура популяций. Типы пространственного распределения.....	143

4.3. Половая структура популяций	149
4.4. Возрастная структура популяций.....	151
4.5. Динамические характеристики популяций	154
4.6. Взаимодействия популяций.....	161
4.7. Конкуренция, хищничество, паразитизм. Отношения хищник – жертва, паразит – хозяин	169
4.8. Гомеостаз популяций. Регуляция численности популяций.....	179
4.9. Цели и задачи популяционной экологии	184
ГЛАВА 5. БИОЦЕНОЗЫ.....	187
5.1. Понятие и сущность биоценоза.....	188
5.2. Видовая структура биоценоза	190
5.3. Пространственная структура биоценоза. Ярусность и мозаичность	192
5.4. Континуум, экотоны, краевой эффект.....	198
5.5. Экологическая ниша.....	201
5.6. Трофическая структура биоценоза. Пищевые цепи и экологические пирамиды	204
ГЛАВА 6. ЭКОСИСТЕМЫ. ДИНАМИКА И СТАБИЛЬНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ.....	218
6.1. Биомы. Основные типы сухопутных биомов.....	221
6.2. Биологическая продуктивность экосистем	233
6.3. Динамика экосистем.....	236
6.4. Экологическая сукцессия. Классификация сукцессий. Проблемы стабильности экосистем	240
6.5. Биогеоценоз. Теория биогеоценологии по В.Н.Сукачеву ...	248
6.6. Агроэкосистемы, их особенности	253
ГЛАВА 7. БИОСФЕРА КАК ВЫСШИЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ	257
7.1. Состав и строение биосферы	257
7.2. Учение В.И.Вернадского о биосфере.....	260
7.3. Живое вещество планеты. Функции живого вещества ...	267
7.4. Проблема сохранения биологического разнообразия планеты	273
7.5. Учение В.И.Вернадского о ноосфере.....	282
7.6. Техносфера	288
7.7. Современные проблемы биосферы.....	293
7.8. Проблема численности населения планеты.....	301
7.9.Связь между загрязнением окружающей среды и здоровьем человека	308
7.10. Понятие и причины экологического кризиса	310
ГЛАВА 8. РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ.....	314
8.1. Общая характеристика природных ресурсов.....	314
8.2. Атмосфера. Структура атмосферы	316

8.3. Парниковый эффект и глобальное потепление климата . . .	318
8.4. Нарушение озонового экрана.	325
8.5. Источники загрязнения атмосферы.	331
8.6. Кислотные осадки.	336
8.7 Проблема дефицита пресной воды	343
8.8. Основные источники загрязнения поверхностных и подземных вод.	347
8.9. Водные ресурсы Беларуси и их использование.	351
8.10. Состояние почвенных ресурсов в мире и в Беларуси . . .	354
8.11. Деграция почвенного покрова и опустынивание	356
8.12. Проблема истребления лесного покрова Земли	360
8.13. Ресурсы сырья и энергии	367
8.14. Современное состояние тепловой энергетики, гидроэнергетики и атомной энергетики	370
8.15. Альтернативные источники энергии	373
ГЛАВА 9. ЭКОЛОГИЯ КАК ОСНОВА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	379
9.1. Экология, рациональное природопользование и охрана природы	379
9.2. Основные проблемы охраны окружающей среды Беларуси	381
9.3. Охрана флоры и фауны. Красная книга Беларуси	387
9.4. Заповедные и другие охраняемые территории	393
9.5. Биосферные заповедники, их цели и задачи	398
9.6. Охраняемые территории Беларуси.	400
9.7. Охрана и защита лесов Беларуси	407
9.8. Охрана и защита животного мира.	412
9.9. Мониторинг окружающей среды	416
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	427
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.	429
УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН	437
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.	443