

А.С. СТЕПАНОВСКИХ

ЭКОЛОГИЯ

*Рекомендовано Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений*



Москва» 2003

УДК 574(075.8)
ББК 28.081
С 79

Рекомендовано Учебно-методическим центром «Профессиональный учебник» в качестве учебника для студентов высших учебных заведений

Рецензенты:

*д-р с.-х. наук, проф., Засл. деятель науки РФ А.Г. Таскаева
(Челябинский агроинженерный университет);
д-р биол. наук, проф. Т.В. Теплякова
(Сибирский университет потребительской кооперации);
д-р с.-х. наук, проф., Засл. деятель науки РФ В.А. Чулкина
(Новосибирский аграрный университет)*

Главный редактор издательства **Н.Д. Эриашвили**

Степановских А.С.

С 79 Экология: Учебник для вузов. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. - 703 с.

ISBN 5-238-00284-X

В учебнике излагаются главные положения современной экологии, строение биосферы, роль живого вещества в биосфере, рассматриваются основные среды жизни и адаптации к ним организмов, экологии популяций, сообществ и экосистем, дается концепция ноосферы, освещаются вопросы антропогенного воздействия на природу в целом и на отдельные компоненты — воздух, воду, растительный и животный мир, значительное внимание уделено воздействию сельскохозяйственной деятельности человека на природу, путям решения экологических проблем, экологической регламентации хозяйственной деятельности.

Для студентов вузов, а также всех, интересующихся экологией.

ISBN 5-238-00284-X

© А.С. Степановских, 2001

© 000 "ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА", 2001

Степановских Анатолий Сергеевич



Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Международной академии аграрного образования и Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, проректор по научной работе и заведующий кафедрой экологии и защиты растений Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева.

А.С. Степановских — видный ученый в области сельскохозяйственной науки и образования. Его научные интересы связаны с экологией и защитой растений. Автор 150 научных и методических работ общим объемом более 350 печатных листов, в том числе 2 монографий, 15 книг и брошюр, 30 учебников и учебных пособий для студентов вузов.

Международной академией наук экологии и безопасности жизнедеятельности за вклад в экологию А.С. Степановских удостоен медали М.В. Ломоносова.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Специалист в любой сфере деятельности должен обладать экологическими знаниями, понимать сущность современных проблем взаимодействия общества и природы, разбираться в причинной обусловленности возможных негативных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую природную среду, уметь квалифицированно оценить характер, направленность и последствия влияния конкретной деятельности человека на природу, увязывая решение производственных задач с соблюдением соответствующих природоохранных требований, вырабатывать и осуществлять научно обоснованные решения экологических проблем. Отсюда велика роль подготовки экологических кадров, экологического образования и воспитания населения страны.

В предлагаемом учебнике излагаются основные положения современной экологии, строение биосферы, роль живого вещества в биосфере, рассматриваются основные среды жизни и адаптации к ним организмов, экологии популяций, сообществ и экосистем, дается концепция ноосферы, освещаются вопросы антропогенного воздействия на природу в целом и на отдельные компоненты, такие, как воздух, вода, растительный и животный мир. Значительное внимание уделено воздействию сельскохозяйственной деятельности человека на природу, путям решения экологических проблем, экологической регламентации хозяйственной деятельности.

При подготовке учебника широко использованы материалы учебников и учебных пособий по экологии, охране окружающей среды, природопользованию отечественных и зарубежных авторов. Всем им выражается глубокая признательность и благодарность.

1. ВВЕДЕНИЕ. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ

1.1. Краткая история экологии

Слово «экология» образовано от греч. *oikos*, что означает дом (жилище, местообитание, убежище), и *logos* — наука. В буквальном смысле экология — это наука об организмах «у себя дома». Наука, в которой особое внимание уделяется «совокупности или характеру связей между организмами и окружающей средой». В настоящее время большинство исследователей считает, что экология — это наука, изучающая отношения живых организмов между собой и окружающей средой, или наука, изучающая условия существования живых организмов, взаимосвязи между средой, в которой они обитают.

Экология приобрела практический интерес еще на заре развития человечества. В примитивном обществе каждый индивидуум для того чтобы выжить, должен был иметь определенные знания об окружающей его среде или о силах природы, растениях и животных. Можно утверждать, что цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства и орудия, позволяющие ему изменять среду своего обитания. Как и другие области знания, экология развивалась непрерывно, но неравномерно на протяжении истории человечества. Судя по дошедшим до нас орудиям охоты, наскальным рисункам о способах культивирования растений, лова животных, обрядам, люди еще на заре становления человечества имели отдельные представления о повадках животных, образе их жизни, сроках сбора растений, употребляемых для их нужд, о местах произрастания растений, способах выращивания и ухода за ними. Некоторые сведения подобного рода находим в сохранившихся памятниках древнеегипетской, индийской, тибетской культур. Элементы экологии имеют место в эпических произведениях и легендах.

Например, в древнеиндийских сказаниях «Махабхарата» (VI—II вв. до н. э.) даются сведения о повадках и образе жизни около 50 видов животных, сообщается об изменениях численности некоторых из них. В рукописных книгах Вавилонии есть описания способов обработки земли, указывается время посева культурных растений, перечисляются птицы и животные, вредные для земледелия. В китайских хрониках IV—II вв. до н. э. описываются условия произрастания различных сортов культурных растений.

В трудах ученых античного мира — Гераклита (530—470 гг. до н. э.), Гиппократ (460—370 гг. до н. э.), Аристотеля (384—322 гг. до н. э.) и др. — были сделаны дальнейшие обобщения экологических фактов.



Гераклит Эфесский



Аристотель

Аристотель в своей «Истории животных» описал более 500 видов известных ему животных, рассказал об их поведении. Так начинался *первый этап* развития науки — накопление фактического материала и первый опыт его систематизации. Теофраст Эрезийский (372—287 гг. до н. э.) описал влияние почвы и климата на структуру растений, наблюдаемое им на огромных пространствах Древнего Средиземноморья. В работах философа впервые было предложено разделить покрытосеменные растения на основные жизненные формы: деревья, кустарники, полукустарники, травы. К

этому периоду относится знаменитая «Естественная история» Плиния Старшего (23—79 гг. н. э.).

В Средние века интерес к изучению природы ослабевает, заменяясь господством схоластики и богословием. Связь строения организмов с условиями среды толковалась как воплощение воли Бога. Людей сжигали на кострах не только за идеи развития природы, но и за чтение книг древних философов. В этот период, затянувшийся на целое тысячелетие, только единичные труды содержат факты научного значения. Большинство же сведений имеют прикладной характер, опираются на описание целебных трав (Разес, 850—923 гг.; Авиценна, 980—1037 гг.), культивируемых растений и животных, на знакомство с природой далеких стран (Марко Поло, XIII в., Афанасий Никитин, XV в.).

Началом новых веяний в науке в период позднего средневековья являются труды Альберта Великого (Альберт фон Больштедт, 1193—1280 гг.). В своих книгах о растениях он придает большое значение условиям их местообитания, где помимо почвы важное место уделяет «солнечному теплу», рассматривая причины «зимнего сна» у растений, размножение и рост организмов ставит в неразрывную связь с их питанием.

Крупными сводами средневековых знаний о живой природе являлись

много томное «Зеркало природы» Венсенаде Бове (XIII в.), «Поучение Владимира Мономаха» (XI в.), ходившие в списках на Руси, «О поучениях и сходствах вещей» доминиканского монаха Иоанна Сиенского (начало XIV в.).

Географические открытия в эпоху Возрождения, колонизация новых стран явились толчком к развитию биологических наук. Накопление и описание фактического материала — характерная черта естествознания этого периода. Однако, несмотря на то что в суждениях о природе господствовали метафизические представления, в трудах многих естествоиспытателей имели место явные свидетельства экологических знаний. Они выражались в накоплении фактов о разнообразии живых организмов, их распространении, в выявлении особенностей строения растений и животных, живущих в условиях той или иной среды. Первые систематики — А. Цезальпин (1519—1603), Д. Рей (1623—1705), Ж. Турнефор (1656—1708) и др. утверждали о зависимости растений от условий произрастания или возделывания, от мест их обитания и т. д. Сведения о поведении, повадках, образе жизни животных, сопровождавшие описание их строения, называли «историей» жизни животных. Известный английский химик Р. Бойль (1627—1691) первым осуществил экологический эксперимент. Он опубликовал результаты сравнительного изучения влияния низкого атмосферного давления на различных животных.

В XVII в. Ф. Реди экспериментально доказал невозможность самозарождения сколько-нибудь сложных животных.



С. П. Крашенинников

В XVII—XVIII вв. в работах, посвященных отдельным группам живых организмов, экологические сведения зачастую составляли значительную часть, например в трудах А. Реомюра о жизни насекомых (1734), Л. Трамбле о гидрах и мшанках (1744), а также в описаниях натуралистами путешествий. Антон ван Левенгук, более известный как один из первых микроскопистов, был пионером в изучении пищевых цепей и регуляции численности организмов. По сочинениям английского ученого Р. Брэдли видно, что он имел четкое представление о биологической продуктивности. На основании путешествий по неизведанным краям

России в XVIII в. С. П. Крашенинниковым, И. И. Лепехиным, П. С. Палласом и другими русскими географами и натуралистами указывалось на взаимосвязанные изменения климата, животного и растительного мира в различных частях обширной страны. В своем капитальном труде «Зоография» П. С. Паллас описал образ жизни 151 вида млекопитающих и 425 видов птиц, биологические явления: миграцию, спячку, взаимоотношения родственных видов и т. д. П. С. Палласа, по определению Б. Е. Райкова (1947), можно считать «одним из основателей экологии



М. В. Ломоносов

животных». О влиянии среды на организм высказывался М. В. Ломоносов. В трактате «О слоях земных» (1763) он писал: «...напрасно многие думают, что все, как мы видим, сначала создано творцом...» Изменения в неживой природе Ломоносов рассматривал как непосредственную причину изменений растительного и животного мира. По останкам вымерших форм (моллюски и насекомые) он судил об условиях их существования в прошлом.



Ж.-Л. П. Бюффон

Влиянию среды на организм много внимания уделял ученый-агроном А. Г. Болотов (1738—1833). На основании наблюдений он разрабатывает приемы воздействия на молодые растения яблони, определяет роль минеральных солей в жизни растений, создает одну из первых классификаций местообитаний, затрагивает вопросы взаимоотношений между организмами.

Во второй половине XVIII в. проблема внешних условий нашла отражение в работах французского естествоиспытателя Ж.-Л.Л.Бюффона(1707—1788). Он считал возможным «перерождение» видов и полагал основными причинами превращения одного вида в другой влияние таких внешних факторов, как «температура, климат, качество пищи и гнет одомашнивания».

В его титаническом труде «Естественная история» четко просматривается материалистический взгляд на неразрывность материи и движения. «Материя без движения никогда не существовала, — пишет он, — движение, следовательно, столь же старо, как и материя». Бюффон отрицает божественное происхождение Земли. Из «Естественной истории» возшли ростки эволюционизма Ж.-Б. Ламарка, выросло эволюционное учение Ч. Дарвина. Создание эволюционной концепции развития природы — главное теоретическое достижение Ж.-Б. Ламарка (1744—1829). В «Философии зоологии» (1809) он дает эволюционное обоснование «лестницы существ». Ж.-Б. Ламарк считал влияние «внешних обстоятельств» одной из самых важных причин приспособительных изменений организмов, эволюции животных и растений.



Ж.-Б. Ламарк

По мере развития зоологии и ботаники происходило накопление фактов экологического содержания, свидетельствующих, что к концу XVIII в. у естествоиспытателей начали складываться элементы особого, прогрессивного подхода к изучению явлений природы, а также об изменениях организмов в зависимости от окружающих условий и о многообразии форм. Вместе с тем как таковых экологических идей еще нет, начала лишь складываться экологическая точка зрения на изучаемые явления природы.



А. Гумбольдт

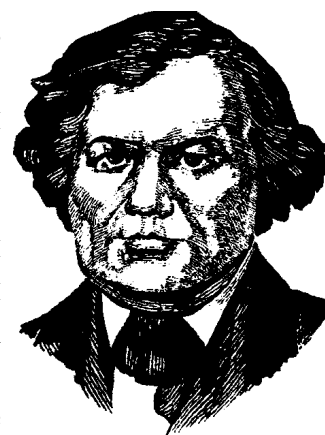
Второй этап развития науки связан с крупномасштабными ботанико-географическими исследованиями в природе. Появление в начале XIX в. биогеографии способствовало дальнейшему развитию экологического мышления.

Подлинным основоположником экологии растений принято считать А. Гумбольдта (1769—1859), опубликовавшего в 1807 г. работу «Идеи о географии растений», где на основе своих многолетних наблюдений в Центральной и Южной Америке он показал значение климатических условий, особенно температурного фактора, для распределения растений. В сходных зональных и вертикально-поясных географических условиях у растений разных таксономических групп вырабатываются сходные «физиономические» формы, т. е. одинаковый внешний облик. По распределению и соотношению этих форм можно судить о специфике физико-географической среды. Появились первые специальные работы, посвященные влиянию климатических факторов на распространение и биологию животных, и среди них - книги немецкого зоолога К. Глогера (1833) об изменениях птиц под влиянием климата, датчанина Т. Фабера (1826) об особенностях северных птиц, К. Бергмана (1848) о географических закономерностях в изменении размеров теплокровных животных.

В 1832 г. О. Декандоль обосновал необходимость выделения особой научной дисциплины «эпиррелогия», изучающей влияние на растения внешних условий и воздействие растений на окружающую среду или, говоря современным языком экологии, среду, где существуют растения, которую стали понимать как совокупность действующих на них условий (экологических факторов). Число таких факторов по мере расширения и углубления исследований по экологии растений возрастало, а оценка значимости отдельных факторов изменялась. О. Декандоль писал: «Растения не выбирают условия среды, они их выдерживают или умирают. Каждый вид, живущий в определенной местности, при известных условиях представляет как бы физиологический опыт, демонстрирующий нам способ воздействия теплоты, света, влажности и столь разнообразных модификаций этих факторов».

Русский ученый Э. А. Эверсман рассматривал организмы в тесном единстве с окружающей средой. В работе «Естественная история Оренбургского края» (1840) он четко делит факторы среды на абиотические и биотические, приводит примеры борьбы и конкуренции между организмами, между особями одного и разных видов.

Экологическое направление в зоологии лучше других было сформулировано другим русским ученым К. Ф. Рулье (1814—1858). Он считал необходимостью



К. Ф. Рулье

развитие особого направления в зоологии, посвященного всестороннему изучению и объяснению жизни животных, их сложных взаимоотношений с окружающим миром. Рулье подчеркивал, что в зоологии наряду с классификацией отдельных органов нужно производить «разбор явлений образа жизни». Здесь следует различать явления жизни особи, т. е. выбор и запасание пищи, выбор и постройка жилища и т. д., а также «явления жизни общей»: взаимоотношения родителей и потомства, законы количественного размножения животных, отношения животных к растениям, почве, к физиологическим условиям среды. Вместе с этим следует изучать периодические явления в жизни животных — линьку, спячку, сезонные



Ч. Дарвин

перемещения и др. Следовательно, Рулье разработал широкую систему экологического исследования животных — «зообиологии», оставил ряд трудов типичного экологического содержания, таких, как типизация общих особенностей водных, наземных и роющих позвоночных. Научные работы Рулье оказали значительное влияние на направление и характер исследований его учеников, последователей — Н. А. Северцова (1827—1885), А. Н. Бекетова (1825—1902). Так, Н. А. Северцов в книге «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гад Воронежской губернии» впервые в России изложил глубокие экологические исследования животного мира отдельного региона.

Таким образом, ученые начала XIX в. анализировали закономерности организмов и среды, взаимоотношения между организмами, явления приспособляемости и приспособленности. Однако разрешение этих проблем, дальнейшее развитие науки экологии произошло на базе эволюционного учения Ч. Дарвина (1809—1882). Он по праву является одним из пионеров экологии. В книге «Происхождение видов» (1859) им показано, что «борьба за существование» в природе приводит к естественному отбору, т. е. является движущим фактором эволюции. Стало ясно, что взаимоотношения живых существ и связи их с неорганическими компонентами среды («борьба за существование») — большая самостоятельная область исследований.

Победа эволюционного учения в биологии открыла, таким образом, *третий этап* в истории экологии, для которого характерно дальнейшее увеличение числа и глубины работ по экологическим проблемам. В этот период завершилось отделение экологии от других наук. Экология, родившись в недрах биогеографии, в конце XIX в. благодаря учению Ч. Дарвина превратилась в науку об адаптациях организмов. Однако сам термин «экология» для новой области знаний впервые был предложен немецким зоологом Э. Геккелем в 1866 г. Он дал следующее определение этой науки:



Э. Геккель

«Это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения растений и животных, контактирующих друг с другом». Э. Геккель (1834—1910) относил экологию к биологическим наукам и наукам о природе, интересующимся всеми сторонами жизни биологических организмов. Термин «экология» в дальнейшем получил всеобщее признание. Во второй половине XIX в. содержанием экологии являлось главным образом изучение образа жизни животных и растений, их адаптивности к климатическим условиям: температуре, световому режиму, влажности и т. д. В этой области был сделан ряд важных обобщений, исследований. Датский ботаник Е. Варминг в книге «Ойкологическая география растений» (1895) излагает основы экологии растений, четко формулирует ее задачи. Изложив основные положения экологии отдельных растений и растительных сообществ, он создал стройную систему фитоэкологических взглядов и с полным основанием может быть назван отцом экологии.

А. Н. Бекетов в научной работе «География растений» (1896) впервые сформулировал понятие биологического комплекса как суммы внешних условий, установил связь особенностей анатомического и морфологического строения растений с их географическим распространением, указал на значение физиологических исследований в экологии. Им же были детально разработаны вопросы межвидового и внутривидового взаимоотношений организмов. Д. Аллен (1877) нашел ряд общих закономерностей в изменении пропорций тела и его выступающих частей, в окраске североамериканских млекопитающих и птиц в связи с географическими изменениями климата.

В конце 70-х гг. XIX в. параллельно с данными исследованиями возникло новое направление. Немецкий гидробиолог К. Мебиус в 1877 г. на основе изучения устричных банок Северного моря обосновал представление о биоценозе как глубоко закономерном сочетании организмов в определенных



В. В. Докучаев

условиях среды. Биоценозы, или природные сообщества, по К. Мебиусу, обусловлены длительной историей приспособления видов друг к другу и к исходной экологической обстановке. Он утверждал, что всякое изменение в каком-либо из факторов биоценоза вызывает изменения в других факторах последнего. Его труд «Устрицы и устричное хозяйство» положил начало биоценологическим исследованиям в природе.

Изучение сообществ в дальнейшем обогатилось методами учета количественных соотношений организмов. Учение о растительных сообществах обособилось в отдельную область ботанической экологии. Значительная роль здесь принадлежит русским ученым С. И. Коржинскому и И. К. Пачоскому, назвавших новую науку «фито-социологией», переименованную позднее в «фитоценологию», а затем в геоботанику. К этому же периоду относится

деятельность знаменитого русского ученого В. В. Докучаева (1846—1903). Докучаев в своем труде «Учение о зонах природы» писал, что ранее изучались отдельные тела, явления и стихии — вода, земля, но не их соотношения, не та генетическая вековая и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительными, животными и минеральными царствами с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром. Учение Докучаева о природных зонах имело исключительное значение для развития экологии. В целом его работы легли в основу геоботанических исследований, положили начало учению о ландшафтах, дали толчок широким исследованиям взаимоотношений растительности и почвы. Идея Докучаева о необходимости изучения закономерностей жизни природных комплексов получила дальнейшее развитие в книге видного лесовода Г. Ф. Морозова «Учение о лесе», в учении В. Н. Сукачева о биогеоценозах.

В начале XX в. оформились экологические школы гидробиологов, фитоценологов, ботаников и зоологов, в каждой из которых развивались определенные стороны экологической науки.

В 1910 г. на III Ботаническом конгрессе в Брюсселе экология растений разделилась на экологию особей и экологию сообществ. По предложению швейцарского ботаника К. Шретера экология особей была названа *аутэкологией* (от греч. autos — сам и «экология»), а экология сообществ — *синэкологией* (от греческой приставки syn-, обозначающей «вместе»). Такое деление вскоре было принято и в зоо-экологии. Появились первые экологические сводки: руководство к изучению экологии животных Ч. Адамса (1913), книга В. Шелфорда о сообществах наземных животных (1913), С. А. Зернова по гидробиологии (1913) и др.

В 1913—1920 гг. были организованы экологические научные общества, основаны журналы. Экологию начали преподавать в ряде университетов. В экологии получило развитие количественное рассмотрение изучаемых явлений и процессов, связанных с именами А. Лотки (1925), В. Вольтерры (1926).

Авторитетнейший ученый России начала XX в., ботаник И. П. Бородин, выступая в 1910 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей с докладом «Об охране участков растительности, интересных с ботанико-географической точки зрения», страстно призывал своих коллег охранять природу и выполнять тем самым «наш нравственный долг», сравнивая это дело с охраной исторических памятников. Бородин особенно интересовался уникальными природными объектами. Любой памятник природы, неважно — большой или маленький, представляет собой, по его мнению, национальное сокровище. «Это такие же уники, как картины, например, Рафаэля — уничтожить их легко, но



И. П. Бородин



Г. А. Кожевников

воссоздать нет возможности». Г. А. Кожевников (1917) утверждал, что к числу факторов, усугубляющих разрушительные последствия войны и революции, относятся вопиющая отсталость, бескультурье, отсутствие развитой технологии и какого-либо гражданского долга. Кожевников сформулировал три этапа становления отношения человека к природе. Россия, по его мнению, находится на стадии, переходной от первого — первобытного, хищнического — этапа ко второму, ориентированному на рост и развитие. При отсутствии даже войны и социальных потрясений мощные структурные факторы должны были бы препятствовать быстрому переходу к третьему этапу, ориентированному на охрану природы. Кожевников, основываясь на данном утверждении, выступал за рационализацию и модернизацию экономики и ее социальной структуры.

На *четвертом этапе* развития истории экологии после разносторонних исследований к 30-м гг. XX в. определились основные теоретические представления в области биоценологии: о границах и структуре биоценозов, степени устойчивости, возможности саморегуляции этих систем. Углублялись исследования типов взаимосвязей организмов, лежащих в основе существования биоценозов. Проблему взаимодействия живых организмов с неживой природой подробно разработал В. И. Вернадский в 1926г., подготовив условия для понятия единого целого биологических организмов с физической средой их обитания.



В. И. Вернадский

Большой вклад в фитоценологические исследования внесли в России В. Н. Сукачев, Б. Н. Келлер, В. В. Алехин, А. Г. Раменский, А. П. Шенников, за рубежом — Ф. Клементс в США, К. Раункьер в Дании, Г. Дю Рие в Швеции, И. Браун-Бланк в Швейцарии. Были созданы разнообразные системы классификации растительности на основе морфологических (физиологических), эколого-морфологических, динамических и других особенностей сообществ, разработаны представления об экологических индикаторах, изучены структура, продуктивность, динамические связи фитоценозов.

Продолжая традиции К. А. Тимирязева, в разработку физиологических основ экологии растений много ценного внес Н. А. Максимов.

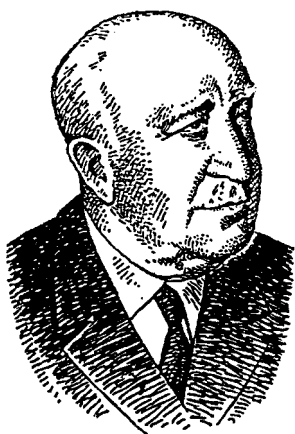
В 30—40-х гг. XX в. появились новые сводки по экологии животных, где излагались теоретические проблемы общей экологии: К. Фридерикса(1930), Ф. Боденгеймера (1935) и др.



Д.Н.. Кашкаров

В развитие общей экологии значительный вклад внес Д. Н. Кашка-ров (1878—1941). Ему принадлежат такие книги, как «Среда и общество», «Жизнь пустыни». Он является автором первого учебника в нашей стране по основам экологии животных (1938). По инициативе Кашкарова регулярно издавался сборник «Вопросы экологии и биоценологии». В этот период оформилась новая область экологической науки — популяционная

экология. Английский ученый Ч. Эл-тон в книге «Экология животных» (1927) переключает внимание с отдельного организма на популяцию как единицу, которую следует изучать самостоятельно. На этом уровне выявляются свои особенности экологических адаптации и регуляций. На развитие популяционной экологии в нашей стране оказали влияние С. А. Северцов, Е. Н. Синская, И. Г. Серебряков, М. С. Гиляров, Н. П. Наумов, Г. А. Викторова, Т. А. Работнова, А. А. Уранова, С. С. Шварц и др. Е. Н. Синская (1948) провела исследования по выяснению экологического и географического полиморфизма видов растений. И. Г. Серебряковым была создана новая, более глубокая классификация жизненных форм. М. С. Гиляров (1949) выдвинул предположение, что почва послужила переходной средой в завоевании членистоногими суши. Исследования С. С. Шварца эволюционной экологии позвоночных животных привели к возникновению палеоэкологии, задачей которой является восстановление картины образа жизни вымерших форм.



В начале 40-х гг. XX в. в экологии возникает новый подход к исследованиям природных экосистем. Г. Гаузе (1934) провозгласил свой знаменитый принцип конкурентного исключения, указав на важность трофических связей как основного пути для потоков энергии через природные сообщества, что явилось весомым вкладом в появление концепции экосистемы. Английский ученый А. Тенсли в 1935 г. в работе «Правильное и неправильное использование концепций и терминов в экологии растений» ввел в экологию термин «экологическая система». Основное достижение А. Тенсли заключается в успешной попытке

В. Н. Сукачев интегрировать биоценоз с биотопом на уровне новой функциональной единицы — экосистемы. В 1942 г. В. Н. Сукачев (1880—1967) обосновал представление о биогеоценозе. Здесь нашла отражение идея единства совокупности организмов с абиотическим окружением, закономерностях, лежащих в основе всего сообщества и окружающей неорганической среды — круговороте вещества и превращениях энергии. Начались работы по точному определению продуктивности водных сообществ (Г. Г. Винберг, 1936). В 1942 г. американский ученый Р. Линдеман изложил основные методы расчета энергетического баланса экологических систем. С этого периода стали принципиально возможными расчеты и прогнозирование предельной продуктивности популяции и биоценозов в конкретных условиях среды. Развитие экосистемного анализа привело к возрождению на новой экологической основе учения о биосфере, принадлежащего крупнейшему ученому В. И. Вернадскому, который в своих идеях намного опередил современную ему науку. Биосфера предстала как глобальная экосистема, стабильность и функционирование которой основаны на экологических законах обеспечения баланса вещества и энергии.

В 50—90 гг. XX в. вопросам экологии посвящены работы видных отечественных и зарубежных исследователей: Р. Дажо (Основы экологии,

1975), Р. Риклефс (Основы общей экологии, 1979), Ю. Одум (Основы экологии, 1975; Экология, 1986), М. И. Будыко (Глобальная экология, 1977), Г. А. Новиков (Основы общей экологии и охраны природы, 1979), Ф. Рамад (Основы прикладной экологии, 1981), В. Тишлер (Сельскохозяйственная экология, 1971), С. Г. Спурр, Б. В. Барнес (Лесная экология, 1984), В. А. Радкевич (Экология, 1983, 1997), Ю. А. Израэль (Экология и контроль природной среды, 1984), В. А. Ковда (Биогеохимия почвенного покрова, 1985), Дж. М. Андерсон (Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек, 1985), Г. В. Стадницкий, А. И. Родионов (Экология, 1988, 1996), Н. Ф. Реймерс (Природопользование, 1990; Экология, 1994), Г. Л. Тышкевич (Экология и агрономия, 1991), Н. М. Чернова, А. М. Былова (Экология, 1988), Т. А. Акимова, В. В. Хаскин (Основы экоразвития, 1994; Экология, 1998), В. Ф. Протасов, А. В. Молчанов (Экология, здоровье и природопользование в России, 1995), Н. М. Мамедов, И. Т. Суравегина (Экология, 1996), К. М. Петров (Общая экология, 1996), А. С. Степаневских (Общая экология, 1996, 2000; Экология, 1997; Охрана окружающей среды, 1998, 2000) и др.



Н. Н. Моисеев

Н. Ф. Реймерс (1931—1993), доктор биологических наук, видный российский ученый, внес значительный вклад в изучение взаимоотношений человека и природы, социально-экономических аспектов экологии и природы.



Н. Ф. Реймерс

Автор книг: Азбука природы. Микроэнциклопедия биосферы (М.: Знание, 1980); Природопользование: Словарь-справочник (М.: Мысль, 1990); Экология теории, законы, правила, принципы и гипотезы (М.: Россия молодая, 1994) и др.

Н. Н. Моисеев (1917—2000), доктор физико-математических наук, академик, известней как ученый с мировым именем. Основные направления его научной деятельности в области экологии и природопользования: методы оптимизации природопользования; математические модели динамики биосферы; методологические вопросы взаимоотношения биосферы и общества; модели стабильности биосферы в условиях антропогенных воздействий.

Анализируя историю экологии как науки, нельзя не заметить, что развитие экологии задержалось минимум на пять—десять лет по сравнению с такими дисциплинами, как эмбриология и генетика. Перечислим некоторые причины отставания экологии.

Недооценка потребности открыть законы, применяемые ко всему живому, т.е. экология находится здесь во многих случаях на аналитической стадии. Изучение взаимоотношений организмов друг с другом и со средой не может идти без учета огромного разнообразия животного и растительного мира, и если общие законы существуют, то в ряде случаев их еще предстоит открыть.

Степень развития научных знаний, которая вынуждала ученых к изучению изолированных естественных явлений, как если бы они были

независимы и не связаны друг с другом. Французский ученый О. Конт в своих трудах проводил мысль о жестких барьерах между науками. Для некоторых ученых такой подход стал привычным. Он вынуждал их рассматривать предметы и явления вне существующих между ними взаимосвязей, тогда как взаимодействие — первая особенность при рассмотрении научных фактов в совокупности. Эти искусственные барьеры рушатся в XX в. с появлением новых отраслей знания, сформировавшихся на основе слияния отдельных наук — физики и химии, химии и биологии.

Рождение и развитие экологии — науки, обязанной своим появлением на свет разнообразным дисциплинам и имеющей свои собственные методы, — относится к этому же периоду. В настоящее время в экологии просматривается все большая тенденция к превращению ее в науку, в которой для охвата всех сторон изучаемого предмета работа ведется группами ученых.

Отсутствие реальных перспектив ее развития вплоть до 30-х гг. XX в. Казалось, что эта наука в отличие, например, от медицины, успеху которой способствовали лабораторные исследования, ограничивалась теоретическими изысканиями. В XIX — начале XX в., а иногда и сейчас, непосредственное перенесение на природу методов, выработанных в лабораторных условиях, часто приводило к непредвиденным, катастрофическим последствиям. Эта ошибочная практика постепенно заставила обратить внимание на экологию, привела к учету человеком в своей деятельности экологических законов.

В конце XX в. происходит «экологизация» науки. Это связано с осознанием огромной роли экологических знаний, с пониманием того, что деятельность человека зачастую не просто наносит вред окружающей среде, но и воздействует на нее отрицательно, изменяя условия жизни людей, угрожает самому существованию человечества.

1.2. Содержание, предмет и задачи экологии

Содержание современной экологии лучше всего можно определить исходя из концепции уровней организации, которые составляют своеобразный «биологический центр» (рис. 1.1).

Биология.ком КОМПОНЕНТЫ плюс	Гены Клепси U П	Органы П	Организмы П	Популяции С П	Общества T1
АБИОТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ равняется	Вещество =з				
	П П	П	П	П	П
БИОСИСТЕМЫ	Генетические Клеточные системы системы	Системы органов	Системы организмов	Популяционные системы	Экосистем ы

Рис. 1.1. Спектр уровней организации



Сообщество, популяция, организм, орган, клетка и ген — основные уровни организации жизни. Расположены в иерархическом порядке — от крупных систем к малым. На каждом уровне или ступени в результате взаимодействия с окружающей физической средой (энергией и веществом) возникают характерные функциональные системы. Под *системой* понимаются упорядоченно взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, образующие единое целое. Экология изучает главным образом системы выше уровня организма: популяционные, экологические (рис. 1.2).

Самая крупная и наиболее близкая к идеалу по «самообеспечению» является *биологическая система* — *биосфера*. Она включает все живые организмы земли, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли как единое целое, чтобы поддерживать эту систему в состоянии устойчивого равновесия, получая поток энергии от Солнца, ее источника, и переизлучая эту энергию в космическое пространство.

Иерархический подход дает удобную основу для подразделения и изучения экологических ситуаций. На этом основании можно дать определение экологии как науки, ее содержания,

предмета и задач. Экология — это наука, изучающая закономерности жизнедеятельности организмов (в любых ее проявлениях, на всех уровнях интеграции) в их естественной среде обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельностью человека.

Основным содержанием современной экологии является исследование взаимоотношений организмов друг с другом и со средой на популяционно-биоценотическом уровне и изучение жизни биологических макросистем более высокого ранга: биогеоценозов (экосистем), биосферы, их продуктивности и энергетики. Предметом исследования экологии являются биологические макросистемы (популяция, биоценозы) и их динамика во времени и в пространстве.

Основные задачи экологии могут быть сведены к изучению динамики популяций, к учению о биоценозах и экосистемах. Структура биоценозов, на уровне формирования которых происходит освоение среды, способствует наиболее экономичному и полному использованию жизненных ресурсов. С этой точки зрения главная теоретическая и практическая задача экологии

заключается в том, чтобы вскрыть законы этих процессов и научиться управлять ими в условиях неизбежной индустриализации и урбанизации нашей планеты.

1.3. Взаимосвязь экологии с другими биологическими науками. Подразделения экологии

Экология — одна из сравнительно молодых и бурно развивающихся биологических наук. Однако проникновение экологических идей практически во все разделы биологии зачастую ставит под сомнение самостоятельность экологии как науки. Вместе с тем существует немало классификаций биологических наук. Каждая из них, хотя и не охватывает все биологические науки (табл. 1.1), дает возможность определить место экологии среди других дисциплин (рис. 1.3).

Таблица 1.1

Классификация биологических наук (по Б. Г. Иоганзену, 1959)

Общие науки	Частные науки	Комплексные науки
Систематика Морфология Физиология Экология Генетика Биогеография Эволюционное учение	Микробиология Ботаника Зоология Антропология	Гидробиология Почвоведение Паразитология

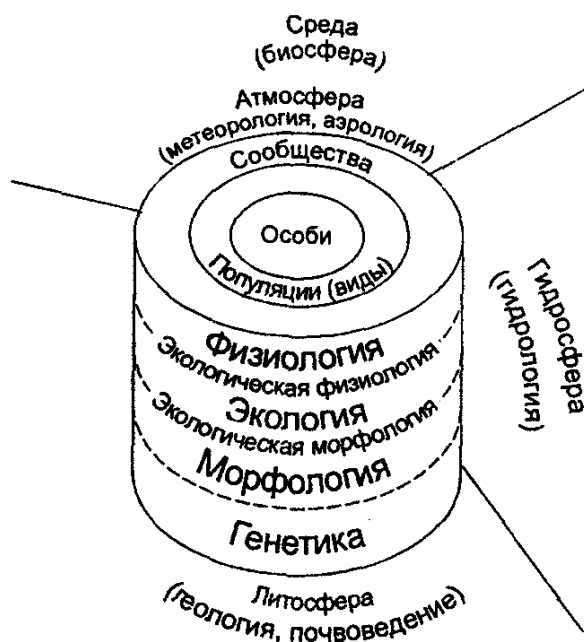


Рис. 1.3. Положение экологии среди других биологических наук (по Н. П. Наумову, 1963)

Общие биологические науки изучают весь органический мир в строго определенном направлении, какую-то одну сторону его жизненных явлений, т. е. «немного обо всем». Каждая из этих наук может, в свою очередь, подразделяться на части, например систематика — на систематику злаков, систематику животных и т. д. Частные науки изучают конкретные объекты органического мира всесторонне, т. е. «все об одном». Так, микробиология изучает систематику, морфологию, физиологию, экологию микроорганизмов. При этом частные науки, в свою очередь, могут быть расчленены: зоология, например, подразделяется на протозоологию, гельминтологию, орнитологию, энтомологию и т.д. В основе комплексных наук лежит изучение условий жизни организмов. В них значительно шире и глубже развиваются экологические идеи, доминирует экологический подход при изучении конкретных явлений. Так, гидробиология изучает систематику, морфологию (общие науки) животных, растений, микроорганизмов (частные науки), обитающих только в водной среде.

Экология как общая биологическая наука также может быть расчленена на составные части: экологию растений, экологию насекомых, экологию лесных пород и т. д. Однако если для других наук индивидуум является наикрупнейшей единицей, то для экологии он — мельчайшая единица исследований.

В настоящее время экология распалась на ряд научных отраслей и дисциплин, подчас далеких от первоначального понимания ее как биологической науки (биоэкологии) об отношениях живых организмов с окружающей их средой. Экологию *по размерам объектов изучения* делят на *аутэкологию* (особи, организм и его среда), *демэкологию*, или популяционную экологию (популяция и ее среда), *синэкологию* (биотическое сообщество, экосистема и их среда), географическую, или ландшафтную, экологию (крупные геосистемы, географические процессы с участием живого и их среды) и глобальную экологию (ме-гаэкология, учение о биосфере Земли)*, рис. 1.4.

* Н.Ф. Реймерс (1994) экологию по размерам объектов изучения предлагает подразделить на *аутэкологию* (экологию особей и организмов как представителей вида), *демэкологию* (экологию малых групп), *популяционную экологию*, *спецэкологию* (экологию вида), *синэкологию* (экологию сообществ), *биоценологию* (экологию биоценозов), *биогеоценологию* (учение об экосистемах различного иерархического уровня организации), *био-сферологию* (учение о биосфере), *эко-сферологию* (глобальную экологию).

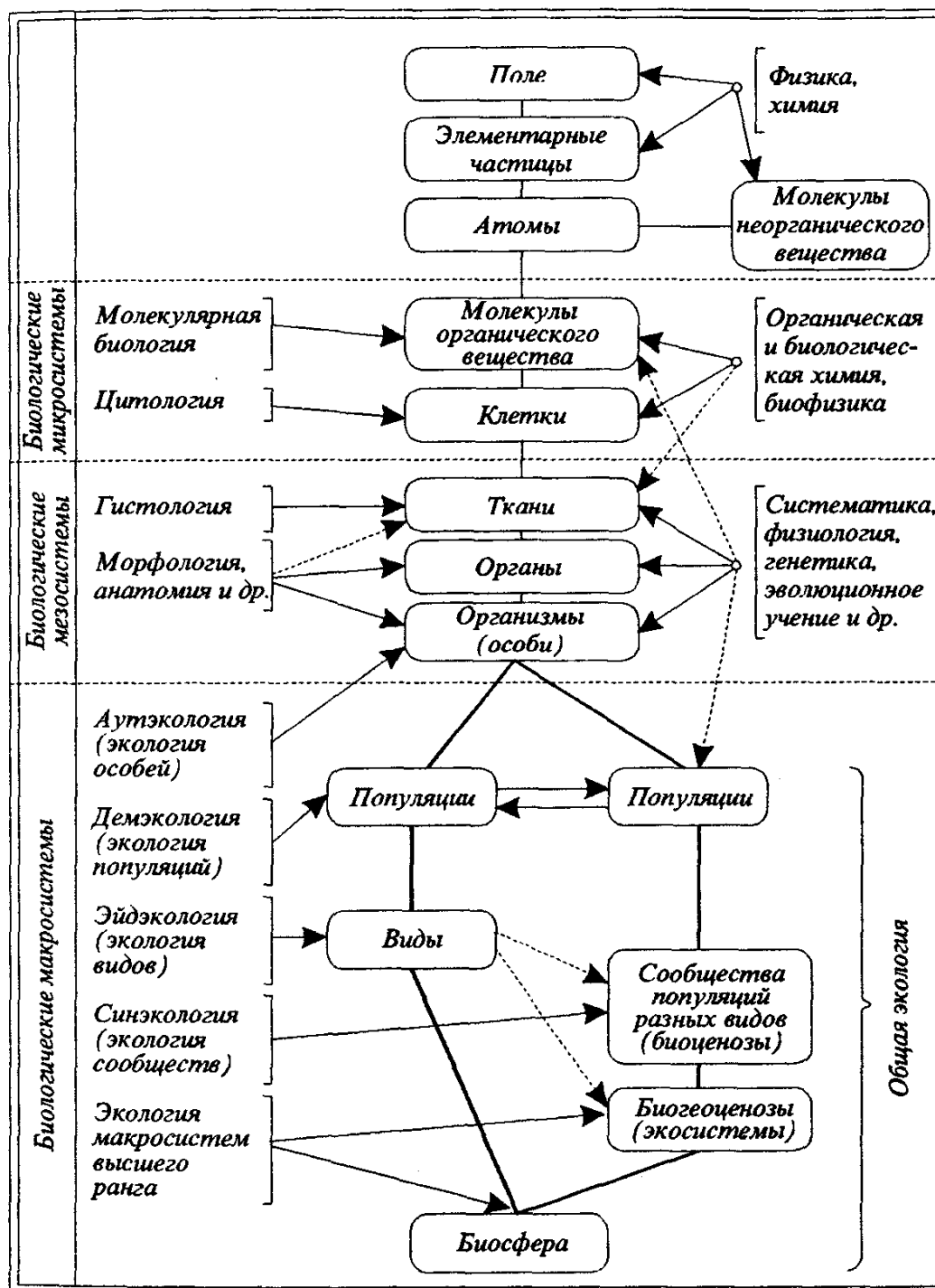


Рис. 1.4. Строение мира (всеобщая иерархия систем) и положение биологических наук, изучающих различные уровни его организации (по В. Д. Радкевичу, 1983)

По отношению к предметам изучения экологию подразделяют на экологию микроорганизмов (прокариот), грибов, растений, животных, человека, сельскохозяйственную, промышленную (инженерную), общую экологию.

По средам и компонентам различают экологию суши, пресных водоемов, морскую. Крайнего Севера, высокогорий, химическую (геохимическую, биохимическую). По подходам к предмету выделяют аналитическую и

динамическую экологии.

С точки зрения фактора времени рассматривают историческую и эволюционную экологии (в том числе археологию). В системе экологии человека выделяют социальную экологию (взаимоотношение социальных групп общества с их средой жизни), отличающуюся от экологии индивида и экологии человеческих популяций по функционально-пространственному уровню, равную синэкологии, но имеющую ту особенность, что сообщества людей в связи с их средой имеют доминанту социальной организации (социальную экологию рассматривают для уровней от элементарных социальных групп до человечества в целом).

1.4. Методы экологических исследований

После работ А. Тенсли (1935), Г. Г. Винберга (1936), В. Н. Сукачева (1942), Р. Линдемана (1942) и понимания, что экосистема является предметом экологии, методом ее исследований явился системный подход, нашедший отражение в работах Л. Берталанфи (История и статус общей теории систем, 1973), У. Эшби (Общая теория систем как новая научная дисциплина, 1969), В. Б. Сочава (Введение в учение о геосистемах, 1978), Ю. Одума (Экология, 1986) и др. В экологии используются *методы исследований и понятия*, применяемые и в других науках — биологии, математике, физике, химии и т.д. Многие же методы исследований свойственны исключительно экологии. Например, если исследования экологии особей (аутэкология) иногда близки исследованиям в области физиологии или биогеографии, то изучение популяций и биоценозов относится всецело к экологии. При переходе от одного уровня к другому — более высокому — у веществ выявляются новые свойства. Приведем два примера: один из физики, другой из экологии. Водород и кислород, соединяясь в определенном соотношении, образуют воду — жидкость, совершенно не похожую по своим свойствам на исходные газы. Водоросли и кишечнополостные животные, эволюционируя совместно, образуют систему кораллового рифа, и возникает эффективный механизм круговорота элементов питания, позволяющий такой комбинированной системе поддерживать высокую продуктивность в водах с очень низким содержанием этих элементов. Фактическая продуктивность и разнообразие коралловых рифов — качественно новые (эмерджентные) свойства, характерные только для рифового сообщества. Фейблман (1945) считал, что при каждом объединении подмножеств в новое множество возникает по меньшей мере одно новое множество.

Основные методы экологических исследований: полевые, экспериментальные исследования с использованием экосистемного подхода, изучения сообществ (синэкология), популяционного подхода (демэкология), анализ местообитаний, эволюционного и исторических подходов.

Экосистемный подход. При экосистемном подходе в центре внимания исследователя-эколога являются *поток энергии и круговорот веществ* между биотическим и абиотическим компонентами экосферы. Наибольший интерес представляет установление функциональных связей, таких, как цепи питания,

живых организмов между собой и с окружающей средой. Все связи оцениваются по их воздействию на установленный объект (рис. 1.5).

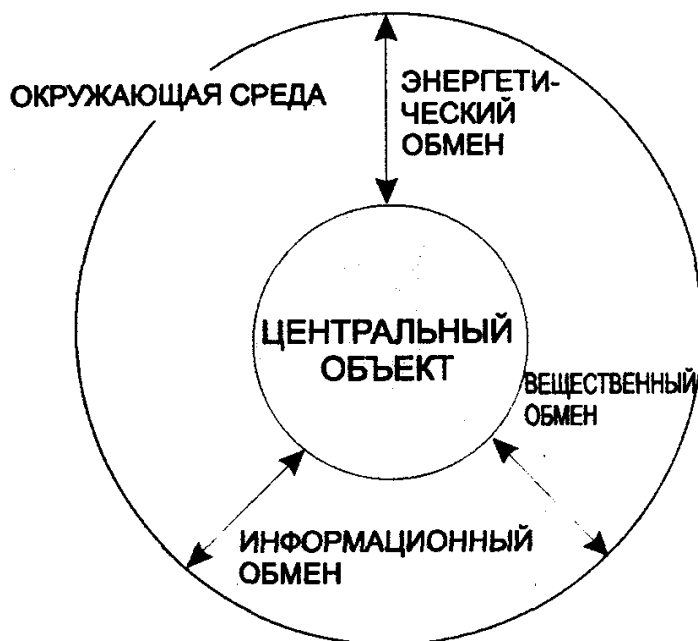


Рис. 1.5. Схема экологического (экосистемного) подхода

Экосистемный подход выдвигает на первый план общность организации всех сообществ, независимо от местообитания и систематического положения входящих в них организмов. Это подтверждается простым сравнением водной и наземной экосистем. При резком различии в среде обитания и в образующих систему видах здесь четко просматривается сходство структуры и функциональных единиц этих двух экосистем.

В экосистемном подходе находит приложение концепция саморегуляции (гомеостаза), из которой становится ясно, что нарушение регуляторных механизмов, например в результате загрязнения среды, может привести к биологическому дисбалансу. Экосистемный подход важен при разработке стратегии развития сельского хозяйства.

Изучение сообществ. При изучении сообществ исследуют растения, животных и микроорганизмы, которые обитают в различных биотических единицах, таких, как лес, луг, пустошь. Основное внимание уделяется определению и описанию видов, изучению факторов, ограничивающих их распространение. Одним из аспектов подобных исследований является получение научных данных о сукцессиях и климаксовых сообществах, что весьма важно для решения вопросов рационального использования природных ресурсов.

Популяционный подход. В современных популяционных исследованиях используются математические модели роста, самоподдержания и уменьшения численности тех или иных видов. Построение моделей связано с такими понятиями, как рождаемость, выживаемость и смертность. Популяционный подход обеспечивает теоретическую базу для понимания всплесков численности

вредителей и паразитов, имеющих значение для медицины и сельского хозяйства, дает возможность борьбы с ними применением биологических методов, например использование хищников и паразитов вредителя, позволяет оценить критическую численность вида, необходимую для его выживания. Это особенно важно при организации заповедников, ведении сельского и охотничьего хозяйства, а в теоретическом плане — при изучении вопросов эволюционной и исторической экологии.

Изучение местообитаний. Анализ местообитания особо выделяют в связи с удобством проведения исследований. Он широко распространен в полевых исследованиях, так как местообитания легко поддаются классификации. Здесь изучают биотические компоненты экосистемы, основные факторы окружающей среды — эдафические, топографические и климатические, такие, как почва, вода, влажность, температура, свет и ветер. Анализ местообитаний имеет тесные связи с экосистемным подходом и изучением сообществ.

Эволюционный подход. Важный материал о характере вероятных будущих изменений мы можем получить, изучая, как экосистемы, сообщества, популяции и местообитания менялись во времени. Эволюционная экология рассматривает изменения, связанные с развитием жизни на Земле, позволяет понять основные закономерности, которые действовали в эко-сфере до того момента, когда важным экологическим фактором, влияющим на большинство организмов и на физическую среду, стала деятельность человека. Эволюционный подход в исследованиях позволяет реконструировать экосистемы прошлого, используя палеонтологические данные (анализ пыльцы, ископаемые остатки и т. д.) и сведения о современных экосистемах.

Исторический подход. Историческая экология изучает изменения, связанные с развитием человеческой цивилизации и технологии, их возрастающее влияние на природу, охватывая период от неолита до наших дней. Используя исторические подходы, можно выявлять долговременные экологические тенденции, которые установить только путем изучения современных экосистем невозможно. Таковы, например, изменения климата, конвергентная эволюция, расселение видов растений и животных. Исторический подход дает больше новых теоретических идей в сравнении с анализом местообитаний.

В последнее десятилетие XX в. успехи техники дали возможность на количественном уровне изучать большие, сложные системы, такие, как экологические. Необходимыми инструментами для этого послужили метод меченых атомов, новые физико-химические методы (спектрометрия, колориметрия, хроматография), дистанционные методы зондирования, автоматический мониторинг, математическое моделирование и т.д. Это позволило ученым разных стран, работающим с 1964 г. по общей Международной биологической программе (МБП), подсчитать максимальную биологическую продуктивность всей нашей планеты или тот природный фонд, которым располагает человечество, и максимально возможные нормы изъятия продукции для нужд растущего населения Земли. Конечной целью МБП было

выявление качественного и количественного распределения и воспроизводства органического вещества в интересах использования их человеком. Итоги работы ученых по МБП поставили перед современным обществом актуальнейшую задачу предотвращения возможных нарушений биологического равновесия в масштабах всей планеты.

2. БИОСФЕРА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СТРУКТУРА. ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО

2.1. Определение и структура биосферы

Космический корабль Земля уникален среди планет Солнечной системы. В тонком слое, где встречаются и взаимодействуют воздух, вода и земля, обитают удивительные объекты — живые существа, среди которых и мы с вами. Согласно современным представлениям, *биосфера — это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.*

По физическим природным условиям биосфера может быть подразделена на три среды: атмосферу, гидросферу и литосферу (рис. 2.1).

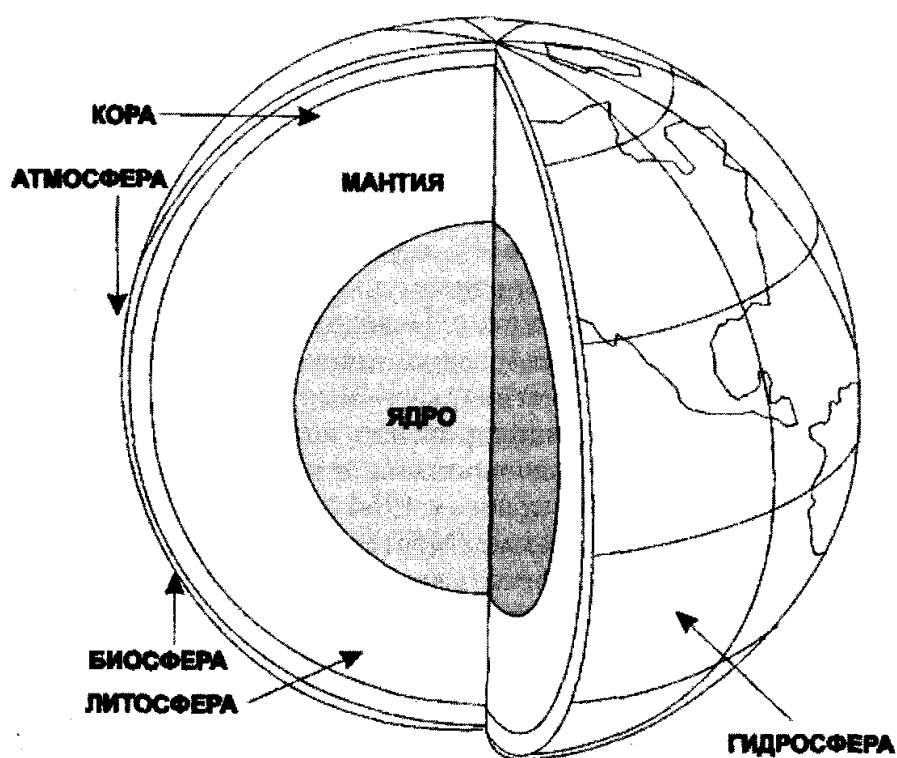


Рис. 2.1. Общая структура Земли.

Основные компоненты геосферы Земли представлены в табл. 2.1.

Пределы биосферы обусловлены прежде всего *полем существования жизни* (В.И. Вернадский, 1926). Всю совокупность организмов на планете Вернадский назвал *живым веществом*, рассматривая в качестве его основных характеристик суммарную массу, химический состав и энергию.

Косное вещество, по Вернадскому, — совокупность тех веществ в биосфере, в образовании которых живые организмы не участвуют.

Таблица 2.1

Основные компоненты геосферы Земли

Показатели	Атмосфера	Гидросфера	Литосфера	Мантия	Ядро Земли
Глубина (толщина), км	1000-1300 (до 2000)	Средняя для океана - 3,8. Максимум 11,022 (по другим данным - 11,034)	Средняя — около 17, континенты – в среднем 35 (до 70), под океанами - 5-7	До 2900	2900-6371
Объем, 10^{18} м^3	1320	1,4	10,2	896,6	175,2
Плотность, г/см^3	У поверхности Земли - 10^{-3} , на высоте 750 км – 10^{-16}	0,99-1,03	2,7-3,32	3,32-5,68	9,43-17,20
Масса, 10^{21} т	5,15 - 5,9	1455,8	$5 \cdot 10^4$	$405 \cdot 10^4$	$188 \cdot 10^4$
Процент от общей массы Земли	Около 10^{-6}	0,02	0,48	67,2	32,3

Биогенное вещество создается и перерабатывается жизнью, совокупностями живых организмов. Это источник чрезвычайно мощной потенциальной энергии (каменный уголь, битумы, известняки, нефть). После образования биогенного вещества живые организмы в нем малодейтельны.

Особой категорией является *биокожное вещество*. В. И. Вернадский (1926) писал, что оно «создается в биосфере одновременно живыми организмами и косными процессами, представляя системы динамического равновесия тех и других». Организмы в биокожном веществе играют ведущую роль. Биокожное вещество планеты, таким образом, — это почва, кора выветривания, все природные воды, свойства которых зависят от деятельности на Земле живого вещества. Следовательно, *биосфера* — это та область Земли, которая охвачена влиянием живого вещества. Жизнь на Земле — самый выдающийся процесс на ее поверхности, получающий живительную энергию Солнца и вводящий в движение едва ли не все химические элементы таблицы Менделеева.

Биосферу как место современного обитания организмов вместе с самими организмами можно разделить на три подсферы (рис. 2.2): *аэробIOSферу*, населенную аэробиионтами, субстратом жизни которых служит влага воздуха; *гидробиосферу* — глобальный мир воды (водная оболочка Земли без подземных вод), населенный гидробионтами; *геобиосферу* — верхнюю часть земной коры (литосфера), населенную геобионтами.

Гидробиосфера распадается на мир континентальных, главным образом пресных, вод — *аквабиосферу* (с аквабионтами) и область морей и океанов — *маринобиосферу* (с маринобионтами).

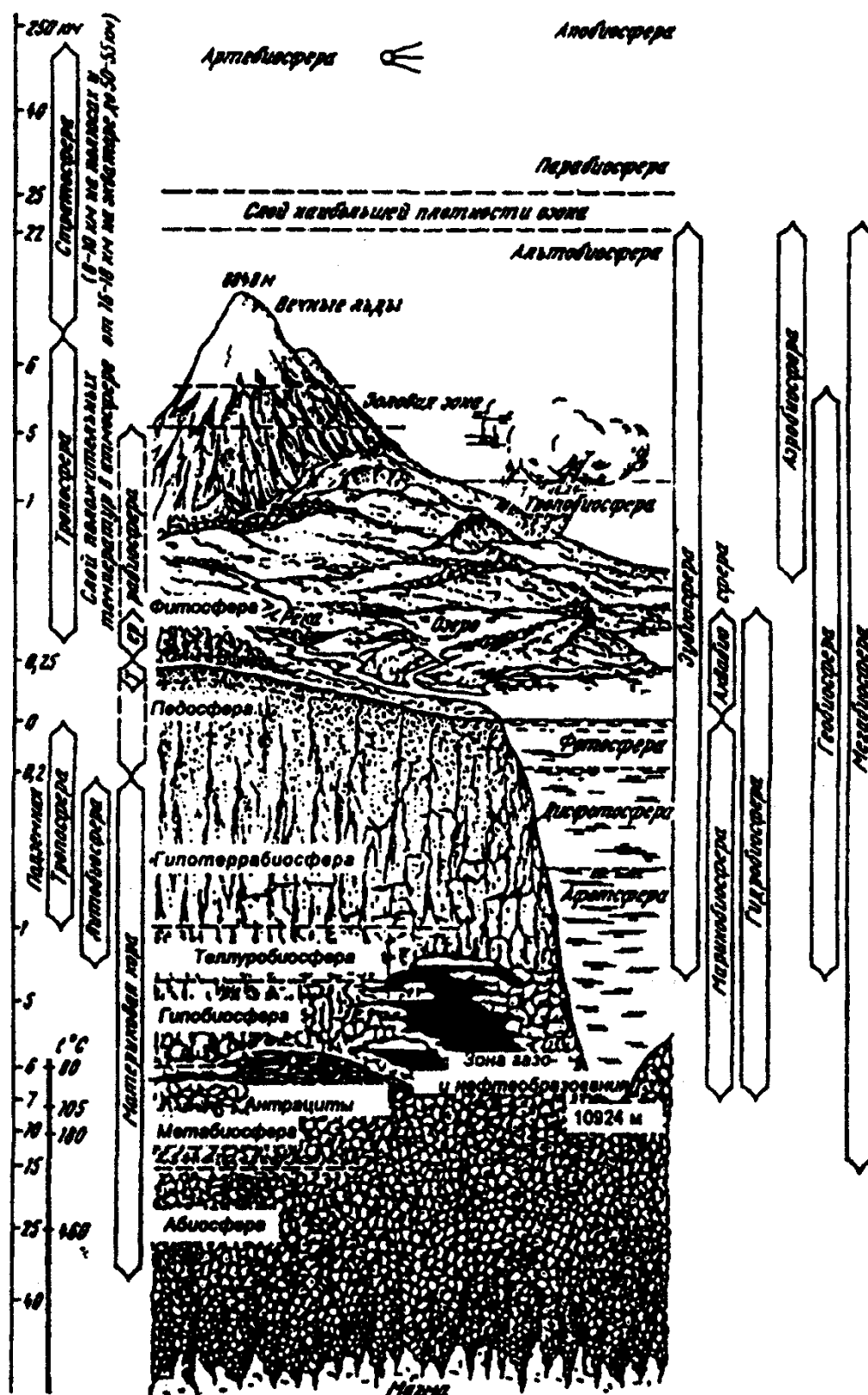


Рис. 2.2. Общая структура биосферы

Геобиосфера состоит: из области жизни на поверхности суши — *террабиосферы* (с террабионтами), которая подразделяется на *фитосферу* (от поверхности земли до верхушек деревьев) и *педос-феру* (почвы и лежащие под ними подпочвы, нередко сюда включают всю кору выветривания) с

педобионтами; *узлитобиосферы* — жизни в глубинах Земли (с литобионтами, живущими в порах горных пород). Литобиосфера распадается на два слоя: *гипотерра-биосферу* — слой, где возможна жизнь аэробов (или подтеррабиосфера) и *теллуриобиосферу* — слой, где возможно обитание анаэробов (или глубинобиосфера). Жизнь в толще литосферы существует в основном в подземных водах.

Подобные слои существуют и в гидробиосфере, но они связаны главным образом с интенсивностью света. Выделяют три слоя: *фотосферу* — относительно ярко освещенный, *дисфотосферу* — всегда очень сумеречный (до 1% солнечной инсоляции), *афо-тосферу* — абсолютной темноты, где невозможен фотосинтез.

Лимитирующим фактором развития жизни в *аэробииосфере* служит наличие капель воды и положительных температур, а также твердых аэрозолей, поднимающихся с поверхности Земли. От вершин деревьев до высоты наиболее частого расположения кучевых облаков простирается *тропобиосфера* (с тропобионтами). Пространство — это более тонкий слой, чем атмосферная тропосфера. Выше тропобиосферы лежит слой крайне разреженной микробиоты — *альтобиосфера* (с альтобионтами). Над ней простирается пространство, куда жизнь проникает лишь случайно и не часто, где организмы не размножаются, — *парабиосфера*.

На больших высотах в горах, там, где уже невозможна жизнь высших растений и вообще организмов-продуцентов, но куда ветры приносят с более низких вертикальных поясов органическое вещество и где при отрицательных температурах воздуха еще достаточно тепла от прямой солнечной инсоляции для существования жизни, расположена высотная часть террабиосферы — *эоловая зона*. Это царство членистоногих и некоторых микроорганизмов — эолобионтов. Жизнь в океанах достигает их дна. Под ним, в базальтах, она едва ли возможна. В глубинах литосферы есть два теоретических уровня распространения жизни — изотерма 100°C, ниже которой при нормальном атмосферном давлении вода кипит, а белки свертываются, и изотерма 460°C, где при любом давлении вода превращается в пар, т. е. в жидком состоянии быть не может. Жизнь в глубинах Земли фактически не идет дальше 3—4 км, максимум 6—7 км и лишь случайно в неактивных формах может проникнуть глубже — в *гипобиосферу* («под-биосфера» — аналог парабиосферы в атмосфере). Следует отметить, что здесь, где залегают биогенные породы, образно выражаясь, следы былых сфер, расположена *метабиосфера*. Метабиосфера, начинаясь с поверхности Земли, простирается далеко в глубь литосферы, теряясь там, где процессы метаморфоза горных пород стирают признаки жизни.

Между верхней границей гипобиосферы и нижней парабио-сферы лежит собственно биосфера — *зубиосфера*. Ее наиболее насыщенный жизнью слой называют *биофильмом*, или, по В. И. Вернадскому (1926), «*пленкой жизни*».

Выше парабиосферы расположена *апобиосфера*, или «над-биосфера», где сравнительно обильны биогенные вещества (ее верхняя граница трудноуловима). Под метабиосферой расположена *абиосфера* («небиосфера»).

Весь слой нынешнего или прошлого воздействия жизни на природу Земли называют *мегабиосферой*, а вместе с *артебио-сферой* (пространством человеческой экспансии в околоземной космос) — *панбиосферой*.

Таким образом, «поле существования жизни», особенно активной, по новейшим данным, ограничено в вертикальном пределе высотой около 6 км над уровнем моря, до которой сохраняются положительные температуры в атмосфере и могут жить хлорофилло-носные растения (6,2 км в Гималаях). Выше, в *эоловой зоне*, обитают лишь жуки, ногохвостки и некоторые клещи, питающиеся зернами растительной пыли, спорами растений, микроорганизмами и другими органическими частицами, заносимыми ветром и т. д. Еще выше живые организмы попадают лишь случайно (микроорганизмы могут сохранять жизнь в виде спор). Нижний предел существования активной жизни традиционно ограничивают дном океана и изотермой 100°C в литосфере, расположенными соответственно на отметках около 11 км и, по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове, около 6 км. Фактически жизнь в литосфере распространена до глубины 3—4 км. Таким образом, вертикальная мощность биосферы в океанической области Земли достигает более 17 км, в сухопутной — 12 км. *Парабиосфера* еще более асимметрична, поскольку верхнюю ее границу определяет озоновый экран. Более значительны колебания толщи мегабиосферы, охватывающей осадочные породы, но она не опускается на материках глубже отметок самых больших глубин океана, т. е. 11 км (здесь температура достигает 200°C), и не поднимается выше наибольших плотностей озонового экрана (22—24 км), следовательно, ее максимальная толщина 33—35 км.

Теоретически пределы биосферы шире, поскольку в гидротермах дна океана (их называли «черными курильщиками» из-за темного цвета извергающихся вод) на глубинах около 3 км обнаружены организмы при температуре до 250°C (рис. 2.3).

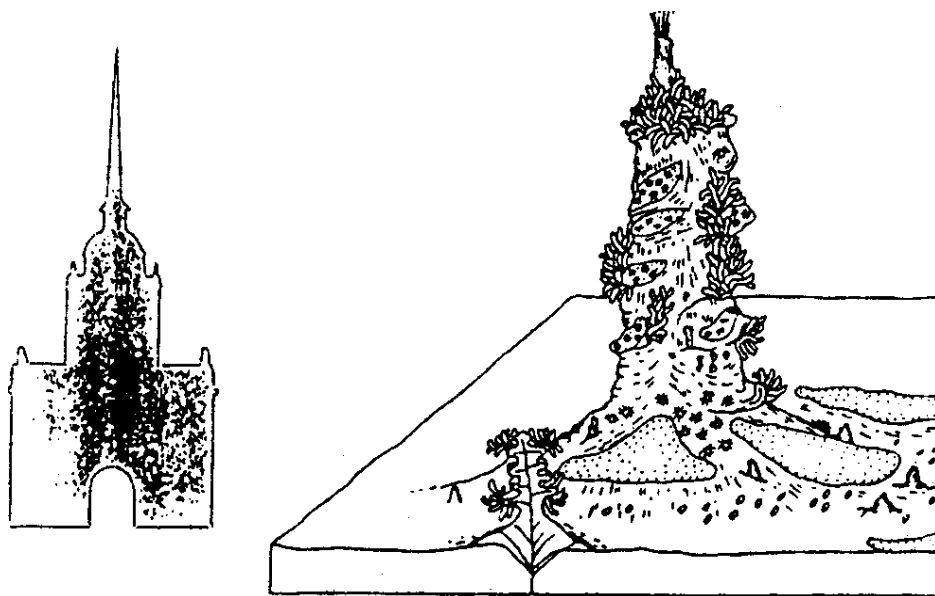


Рис. 2.3. «Черный курильщик», его высота около 120 м (для сравнения

приведен силуэт «Адмиралтейства» в Санкт-Петербурге)

При давлении около 300 атмосфер вода здесь не кипит (пределы жизни ограничены точками превращения воды в пар и сворачивания белков). Перегретая жидкая вода обнаружена в литосфере до глубин 10,5 км. Глубже 25 км, по оценкам, должна существовать критическая температура 460°C, при которой при любом давлении вода превращается в пар и жизнь принципиально невозможна.

2.2. Живое вещество биосферы

Длительное время считалось, что *живое* отличается от *неживого* такими свойствами, как обмен веществ, подвижность, раздражаемость, рост, размножение, приспособляемость. Однако порознь все эти свойства встречаются и среди неживой природы, а следовательно, не могут рассматриваться как специфические свойства живого.

Особенности живого Б. М. Медников (1982) сформулировал в виде *аксиом теоретической биологии*:

1. Все живые организмы оказываются единством фенотипа и программы для его построения (генотипа), передающейся по наследству из поколения в поколение (*аксиома А. Вейсмана*)*.

2. Генетическая программа образуется матричным путем. В качестве матрицы, на которой строится ген будущего поколения, используется ген предшествующего поколения (*аксиома Н.К. Кольцова*).

3. В процессе передачи из поколения в поколение генетические программы в результате различных причин изменяются случайно и ненаправленно, и лишь случайно такие изменения могут оказаться удачными в данной среде (*1-я аксиома Ч. Дарвина*).

4. Случайные изменения генетических программ при становлении фенотипа многократно усиливаются (*аксиома Н. В. Тимофеева-Ресовского*).

5. Многократно усиленные изменения генетических программ подвергаются отбору условиями внешней среды (*2-я аксиома Ч. Дарвина*).

Из данных аксиом можно вывести все основные свойства живой природы, и в первую очередь такие, как *дискретность* и *целостность* — два фундаментальных свойства организации жизни на Земле. Среди живых систем нет двух одинаковых особей, популяций и видов. Эта уникальность проявления дискретности и целостности основана на явлении конвариантной редупликации.

Конвариантная редупликация (самовоспроизведение с изменениями) осуществляется на основе матричного принципа (сумма трех первых аксиом). Это, вероятно, единственное специфическое для жизни, в известной для нас форме ее существования на Земле, свойство. В основе его лежит уникальная способность к самовоспроизведению основных управляющих систем (ДНК,

* Аксиомы названы по именам ученых, впервые описавших данное явление. Приводимые же краткие формулировки аксиом не принадлежат данным ученым.

хромосом, генов).

Редупликация определяется матричным принципом (аксиома Н. К. Кольцова) синтеза макромолекул (рис. 2.4).

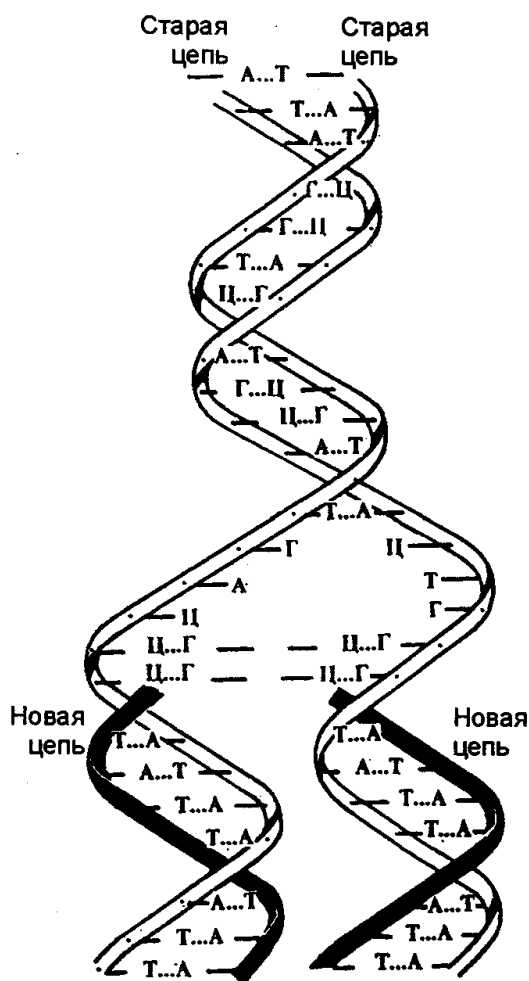


Рис. 2.4. Схема редупликации ДНК (по Дж. Севейдж, 1969)

Примечание. Процесс связан с разделением пар оснований (аденин — тимин и гуанин — цитозин: А — Т, Г — Ц) и раскручиванием двух цепей исходной спирали. Каждая цепь используется как матрица для синтеза новой цепи

Способность к *самовоспроизведению по матричному принципу* молекулы ДНК смогли выполнить роль носителя наследственности исходных управляющих систем (аксиома А. Вейсмана). Кон-вариантная редупликация означает возможность передачи по наследству дискретных отклонений от исходного состояния (мутаций), предпосылки эволюции жизни.

Живое вещество по своей массе занимает ничтожную долю по сравнению с любой из верхних оболочек земного шара. По современным оценкам, общее количество массы живого вещества в наше время равно 2420 млрд т. Эту величину можно сравнить с массой оболочек Земли, в той или иной степени охваченных биосферой (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Масса живого вещества в биосфере

Подразделения биосферы	Масса, т	Сравнение
Живое вещество	$2,4 \cdot 10^{12}$	1
Атмосфера	$5,15 \cdot 10^{15}$	2146
Гидросфера	$1,5 \cdot 10^{18}$	602 500
Земная кора	$2,8 \cdot 10^{19}$	1 670 000

По своему активному воздействию на окружающую среду живое вещество занимает особое место и качественно резко отличается от других оболочек земного шара, так же как живая материя отличается от мертвой.

В. И. Вернадский подчеркивал, что живое вещество — самая активная форма материи во Вселенной. Оно проводит гигантскую геохимическую работу в биосфере, полностью преобразовав верхние оболочки Земли за время своего существования. Все живое вещество нашей планеты составляет $1/11000000$ часть массы всей земной коры. В качественном же отношении живое вещество представляет собой наиболее организованную часть материи Земли.

При оценке среднего химического состава живого вещества, по данным А. П. Виноградова (1975), В. Лархера (1978) и др., главные составные части живого вещества — это элементы, широко распространенные в природе (атмосфера, гидросфера, космос): водород, углерод, кислород, азот, фосфор и сера (табл. 2.3, рис. 2.5).

Таблица 2.3

Элементарный состав звездного и солнечного вещества в сопоставлении с составом растений и животных

Химический элемент	Содержание, %			
	Звездное вещество	Солнечное вещество	Растения	Животные
Водород (H)	81,76	87,00	10,0	10,00
Гелий (He)	18,17	12,90	—	
Азот (N)		0,28	3,00	
Углерод (C)	0,33	0,33	3,00	18,00
Магний (Mg)		0,08	0,05	
Кислород (O)	0,03	0,25	79,00	65,00
Кремний (Si)				
Сера (S)	0,01	0,04	0,15	0,254
Железо (Fe)				
Другие элементы	0,001	0,04	7,49	3,696

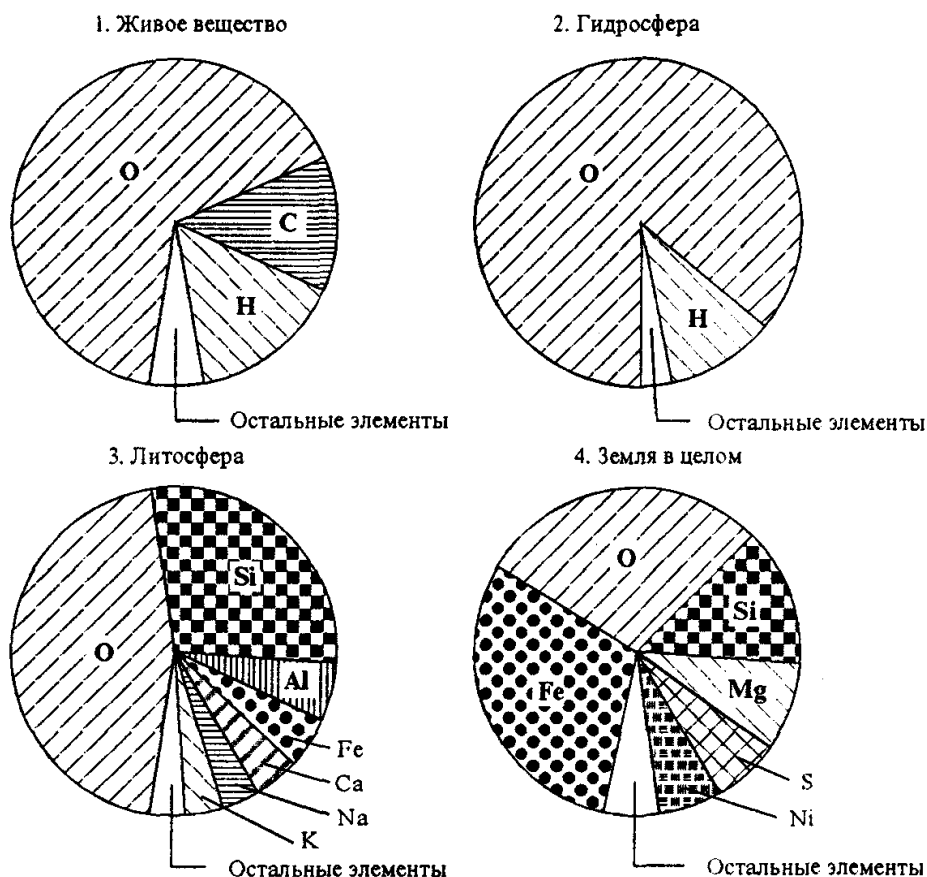


Рис. 2.5. Соотношение химических элементов в живом веществе, гидросфере, литосфере и в массе Земли в целом

Живое вещество биосферы состоит из наиболее простых и наиболее распространенных в космосе атомов.

Средний элементарный состав живого вещества отличается от состава земной коры высоким содержанием углерода. По содержанию других элементов живые организмы не повторяют состава среды своего обитания. Они избирательно поглощают элементы, необходимые для построения их тканей.

В процессе жизнедеятельности организмы используют наиболее доступные атомы, способные к образованию устойчивых химических связей. Как уже было отмечено, водород, углерод, кислород, азот, фосфор и сера являются главными химическими элементами земного вещества и их называют *биофильными*. Их атомы создают в живых организмах сложные молекулы в сочетании с водой и минеральными солями. Эти молекулярные постройки представлены углеводами, липидами, белками и нуклеиновыми кислотами. Перечисленные части живого вещества находятся в организмах в тесном взаимодействии. Окружающий нас мир живых организмов биосферы представляет собой сочетание различных биологических систем разной структурной упорядоченности и разного организационного положения. В связи с этим выделяют разные уровни существования живого вещества — от крупных молекул до растений и животных различных организаций.

1. *Молекулярный* (генетический) — самый низкий уровень, на котором

биологическая система проявляется в виде функционирования биологически активных крупных молекул — белков, нуклеиновых кислот, углеводов. С этого уровня наблюдаются свойства, характерные исключительно для живой материи: обмен веществ, протекающий при превращении лучистой и химической энергии, передача наследственности с помощью ДНК и РНК. Этому уровню свойственна устойчивость структур в поколениях.

2. *Клеточный* — уровень, на котором биологически активные молекулы сочетаются в единую систему. В отношении клеточной организации все организмы подразделяются на одноклеточные и многоклеточные.

3. *Тканевый* — уровень, на котором сочетание однородных клеток образует ткань. Он охватывает совокупность клеток, объединенных общностью происхождения и функций.

4. *Органный* — уровень, на котором несколько типов тканей функционально взаимодействуют и образуют определенный орган.

5. *Организменный* — уровень, на котором взаимодействие ряда органов сводится в единую систему индивидуального организма. Представлен определенными видами организмов.

6. *Популяционно-видовой*, где существует совокупность определенных однородных организмов, связанных единством происхождения, образом жизни и местом обитания. На этом уровне происходят элементарные эволюционные изменения в целом.

7. *Биоценоз и биогеоценоз (экосистема)* — более высокий уровень организации живой материи, объединяющий разные по видовому составу организмы. В биогеоценозе они взаимодействуют друг с другом на определенном участке земной поверхности с однородными абиотическими факторами.

8. *Биосферный* — уровень, на котором сформировалась природная система наиболее высокого ранга, охватывающая все проявления жизни в пределах нашей планеты. На этом уровне происходят все круговороты вещества в глобальном масштабе, связанные с жизнедеятельностью организмов.

По способу питания живое вещество подразделяется на авто-трофы и гетеротрофы.

Автотрофами (от греч. autos — сам, trof — кормиться, питаться) называют организмы, берущие нужные им для жизни химические элементы из окружающей их костной материи и не требующие для построения своего тела готовых органических соединений другого организма. Основным источником энергии, используемый автотрофами, — Солнце.

Автотрофы подразделяются на фотоавтотрофы и хемоавто-трофы. *Фотоавтотрофы* используют в качестве источника энергии солнечный свет, *хемоавтотрофы* используют энергию окисления неорганических веществ.

К автотрофным организмам относятся водоросли, наземные земные растения, бактерии, способные к фотосинтезу, а также некоторые бактерии, способные окислять неорганические вещества (хемоавтотрофы). Автотрофы являются первичными продуцентами органического вещества в биосфере.

Гетеротрофы (от греческого *geter* — другой) — организмы, нуждающиеся для своего питания в органическом веществе, образованном другими организмами. Гетеротрофы способны разлагать все вещества, образуемые автотрофами, и многие из тех, что синтезирует человек.

Живое вещество устойчиво только в живых организмах, оно стремится заполнить собой все возможное пространство. «Давлением жизни» называл данное явление В. И. Вернадский.

На Земле из существующих живых организмов наибольшей силой размножения обладает гриб-дождевик гигантский. Каждый экземпляр данного гриба может дать до 7,5 млрд спор. Если каждая спора послужила бы началом новому организму, то объем дождевиков уже во втором поколении в 800 раз превысил размеры нашей планеты.

Таким образом, наиболее общее и специфическое свойство *живого* — способность к самовоспроизведению, конвариантной редупликации на основе матричного принципа. Эта способность вместе с другими особенностями живых существ и определяет существование основных уровней организации живого. Все уровни организации жизни находятся в сложном взаимодействии как части единого целого. На каждом уровне действуют свои закономерности, определяющие особенности эволюции всех форм орга

низации живого. Способность к эволюции выступает как атрибут жизни, непосредственно вытекающий из уникальной способности живого к самовоспроизведению дискретных биологических единиц. Специфические свойства жизни обеспечивают не только воспроизведение себе подобных (наследственности), но и необходимые для эволюции изменения самовоспроизводящих структур (изменчивость).

2.3. Законы биогенной миграции атомов и необратимости эволюции, законы экологии Б. Коммонера

Закон биогенной миграции атомов (В.И. Вернадского) имеет важное теоретическое и практическое значение. Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом или осуществляется при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H^+ и т. д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории. Согласно закону биогенной миграции атомов, понимание общих химических процессов, протекавших и протекающих на поверхности суши, в атмосфере и заселенных организмами глубинах литосферы и вод, а также геологических слоях, сложенных прошлой деятельностью организмов, невозможно без учета биотических факторов, в том числе эволюционных.

В ходе геологического времени развитие биосферы носило необратимый характер. В первую очередь это касается живого вещества, для которого

необратимость развития стала ясной после работ Ч. Дарвина (1859). Основываясь на эволюционном учении и палеонтологических данных, знаменитый бельгийский палеонтолог Л. Долло (1857—1931) в короткой заметке «Законы эволюции» сформулировал закон необратимости эволюции: «Организм не может вернуться, хотя бы частично, к предшествующему состоянию, которое было уже осуществлено в ряде его предков».

В течение истории Земли необратимость биологической эволюции определила необратимость динамики веществ в биосфере, выявляемых по характеру древних осадков.

Б. Коммонер (1974) выдвинул ряд положений, которые сегодня называют законами экологии: 1) все связано со всем; 2) все должно куда-то деваться; 3) природа «знает» лучше; 4) ничто не дается даром.

Первый закон «Все связано со всем» отражает существование сложнейшей сети взаимодействий в экосфере. Он предостерегает человека от необдуманного воздействия на отдельные части экосистем, что может привести к непредвиденным последствиям.

Второй закон «Все должно куда-то деваться» вытекает из фундаментального закона сохранения материи. Он позволяет по-новому рассматривать проблему отходов материального производства. Огромные количества веществ извлечены из Земли, преобразованы в новые соединения и рассеяны в окружающей среде без учета того факта, что «все куда-то девается». И как результат — большие количества веществ зачастую накапливаются там, где по природе их не должно быть.

Третий закон «Природа знает лучше» исходит из того, что «структура организма нынешних живых существ или организмов современной природной экосистемы — наилучшие в том смысле, что они были тщательно отобраны из неудачных вариантов и что любой новый вариант, скорее всего, будет хуже существующего ныне». Этот закон призывает к тщательному изучению естественных био- и экосистем, сознательному отношению к преобразующей деятельности. Без точного знания последствий преобразования природы недопустимы никакие ее «улучшения».

Четвертый закон «Ничто не дается даром», по мнению Б. Коммонера, объединяет предшествующие три закона, потому что биосфера как глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом всеобщего улучшения; все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. Платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только отсрочен.

В законах Б. Коммонера обращается внимание на всеобщую связь процессов и явлений в природе: любая природная система может развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды. Пока мы не имеем абсолютно достоверной информации о механизмах и функциях природы, мы, подобно человеку, не знакомому с устройством часов, но желающему их починить, легко вредим природным системам, пытаясь их улучшить. Иллюстрацией здесь

может служить то, что один лишь математический расчет параметров биосферы требует безмерно большего времени, чем весь период существования нашей планеты как твердого тела.

3. ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМЫ

3.1. Среда и условия существования организмов

Различают такие понятия, как среда и условия существования организмов.

Среда — это часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них прямое или косвенное воздействие. Из среды организмы получают все необходимое для жизни и в нее же выделяют продукты обмена веществ. Среда каждого организма складывается из множества элементов неорганической и органической природы и элементов, привносимых человеком и его производственной деятельностью. При этом одни элементы могут быть частично или полностью безразличны организму, другие необходимы, а третьи оказывают отрицательное воздействие. Например, заяц-беляк (*Lepus timidus*) в лесу вступает в определенные взаимоотношения с пищей, водой, химическими соединениями, кислородом, без которых он обойтись не может, в то время как ствол дерева, пень, кочка, валун на его жизнь не оказывают существенного влияния. Заяц вступает с ними во временные связи (укрытие от врага, непогоды), но не обязательные связи.

Условия жизни, или условия существования, — это совокупность необходимых для организма элементов среды, с которыми он находится в неразрывном единстве и без которых существовать не может.

Приспособления организмов к среде носят название *адаптаций*. Способность к адаптациям — одно из основных свойств жизни вообще, обеспечивающее возможность ее существования, возможность организмов выживать и размножаться. Адаптации проявляются на разных уровнях — от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экологических систем. Все приспособления организмов к существованию в различных условиях выработались исторически. В результате сформировались специфические для каждой географической зоны группировки растений и животных.

Отдельные свойства или элементы среды, воздействующие на организмы, называются *экологическими факторами* (табл. 3.1).

Многообразие экологических факторов подразделяется на две большие группы: абиотические и биотические.

Абиотические факторы — это комплекс условий неорганической среды, влияющих на организм.

Биотические факторы — это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие. В отдельных случаях антропогенные факторы выделяют в самостоятельную группу факторов наряду с абиотическими и

биотическими, подчеркивая тем самым чрезвычайное действие антропогенного фактора. Соглашаясь с вышеуказанным, мы все же считаем более правильным классифицировать его как часть факторов биотического влияния, так как понятие «биотические факторы» охватывает действия всего органического мира, к которому принадлежит и человек.

Таблица 3.1

Различные подходы к классификации экологических факторов

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ		
АБИОТИЧЕСКИЕ		БИОТИЧЕСКИЕ
Свет, температура, влага, ветер, воздух, давление, течения, долгота дня и т. д.		Влияние растений на других членов биоценоза
Механический состав почвы, ее проницаемость, влагоемкость		Влияние животных на других членов биоценоза
Содержание в почве или воде элементов питания, газовый состав, соленость воды		Антропогенные факторы, возникающие в результате деятельности человека
ПО ВРЕМЕНИ	ПО ПЕРИОДИЧНОСТИ	ПО ОЧЕРЕДНОСТИ
Эволюционный	Периодический	Первичный
Исторический	Непериодический	Вторичный
ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ		ПО СРЕДЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
Космический		Атмосферный
Абиотический (абиогенный)		Водный (влажности)
Биогенный		Геоморфологический
Биотический		Эдафический
Биологический		Физиологический
Природно-антропогенный		Генетический
Антропогенный (в том числе техногенный, загрязнение среды, в том числе беспокойстве)		Популяционный
		Биоценотический
		Экосистемный
		Биосферный

Совокупность факторов одного рода составляет верхний уровень понятий. Нижний уровень понятий связан с познанием отдельных экологических факторов.

Влияние факторов среды определяется прежде всего их воздействием на обмен веществ организмов. Отсюда все экологические факторы по их действию можно подразделить на прямодействующие и косвеннодействующие. Те и другие могут оказывать существенные воздействия на жизнь отдельных организмов и на все сообщество. Экологические факторы могут выступать то в виде прямодействующего, то в виде косвенного. Каждый экологический фактор характеризуется определенными количественными показателями, например силой и диапазоном действия.

Для разных видов растений и животных условия, в которых они особенно хорошо себя чувствуют, неодинаковы. Например, некоторые растения предпочитают очень влажную почву, другие — относительно сухую. Одни требуют сильной жары, другие лучше переносят более холодную среду и т. д.

Интенсивность экологического фактора, наиболее благоприятная для

жизнедеятельности организма, называется *оптимумом*, а дающая наихудший эффект — *пессимумом*, т. е. условия, при которых жизнедеятельность организма максимально угнетается, но он еще может существовать. Так, при выращивании растений при различных температурах точка, при которой наблюдается максимальный рост, и будет *оптимумом*. В большинстве случаев это некий диапазон температур, составляющий несколько градусов, поэтому лучше здесь говорить о *зоне оптимума*. Весь интервал температур, от минимальной до максимальной, при которых еще возможен рост, называют *диапазоном устойчивости* (выносливости) или толерантности. Точки, ограничивающие его, т. е. максимальная и минимальная, пригодные для жизни температуры, — это *пределы устойчивости*. Между зоной оптимума и пределами устойчивости по мере приближения к последним растение испытывает все нарастающий стресс, т. е. речь идет о *стрессовых зонах* или *зонах угнетения* в рамках диапазона устойчивости (рис. 3.1). По мере удаления от оптимума вниз и вверх по шкале не только усиливается стресс, а в конечном итоге по достижении пределов устойчивости организма происходит его гибель.



Рис. 3.1. Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности

Подобные эксперименты можно провести и для проверки влияния других факторов. Результаты графически будут соответствовать кривой подобного же типа.

Повторяемость наблюдаемых тенденций дает возможность сделать заключение, что здесь речь идет о фундаментальном биологическом принципе. Для каждого вида растений (животных) существуют *оптимум, стрессовые зоны и пределы устойчивости или выносливости* в отношении каждого *средового фактора*.

При значении фактора, близком к пределам выносливости или толерантности, организм обычно может существовать лишь

непродолжительное время. В более узком интервале условий возможно длительное существование и рост особей. Еще в более узком диапазоне происходит размножение, и вид может существовать неограниченно долго. Обычно где-то в средней части диапазона устойчивости имеются условия, наиболее благоприятные для жизнедеятельности, роста и размножения. Эти условия называют оптимальными, в которых особи данного вида оказываются наиболее приспособленными, т. е. оставляют наибольшее число потомков. На практике выявить такие условия сложно, и обычно определяют оптимум для отдельных показателей жизнедеятельности — скорости роста, выживаемости и т. п.

Свойство видов адаптироваться к тому или иному диапазону факторов среды обозначается понятием «*экологическая пластичность*» (экологическая валентность) вида. Чем шире диапазон колебаний экологического фактора, в пределах которого данный вид может существовать, тем больше его экологическая пластичность.

Виды, способные существовать при небольших отклонениях от фактора, от оптимальной величины, называются узкоспециализированными, а выдерживающие значительные изменения фактора — широкоприспособленными. К узкоспециализированным видам относятся, например, организмы пресных вод, нормальная жизнь которых сохраняется при низком содержании солей в среде. Для большинства обитателей морей, наоборот, нормальная жизнедеятельность сохраняется при высокой концентрации солей в окружающей среде. Отсюда пресноводные и морские виды обладают невысокой экологической пластичностью по отношению к солености. В то же время, например, трехиглой колюшке свойственна высокая экологическая пластичность, так как она может жить как в пресных, так и в соленых водах.

Экологически выносливые виды называют *эврибионтными* (euros — широкий): маловыносливые — *стенобионтными* (stenos — узкий). Эврибионтность и стенобионтность характеризуют различные типы приспособления организмов к выживанию. Виды, длительное время развивающиеся в относительно стабильных условиях, утрачивают экологическую пластичность и вырабатывают черты стенобионтности, тогда как виды, существовавшие при значительных колебаниях факторов среды, приобретают повышенную экологическую пластичность и становятся эврибионтными (рис. 3.2).

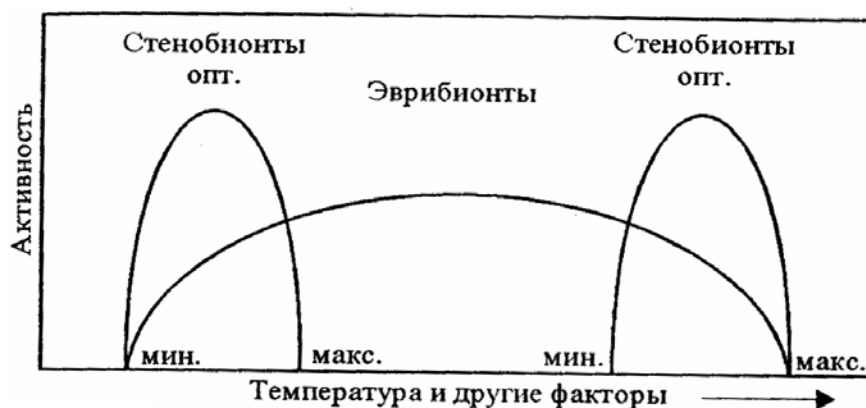


Рис. 3.2. Экологическая пластичность видов (по Ю. Одуму, 1975)

Отношение организмов к колебаниям того или иного определенного фактора выражается прибавлением приставки «эври-» или «стено-» к названию фактора. Например, по отношению к температуре различают эври- и стенотермные организмы, к концентрации солей — эвристиеногалинные, к свету — эври- и стенофотные и др. По отношению ко всем факторам среды эврибионтные организмы встречаются редко. Чаще всего эври- или стенобионтность проявляется по отношению к одному фактору. Так, пресноводные и морские рыбы будут стеногалинными, тогда как ранее названная трехиглая колюшка — типичный эвригалинный представитель. Растение, являясь эвритермным, одновременно может относиться к стеногигробионтам, т. е. быть менее стойким относительно колебаний влажности.

Эврибионтность, как правило, способствует широкому распространению видов. Многие простейшие, грибы (типичные эврибионты) являются космополитами и распространены повсеместно. Стенобионтность обычно ограничивает ареалы. В то же время, нередко благодаря высокой специализированности, стенобионтам принадлежат обширные территории. Например, рыбоядная птица скопа (*Pandion haliaetus*) — типичный стенофаг, а по отношению же к другим факторам является эврибионтом, обладает способностью в поисках пищи передвигаться на большие расстояния и занимает значительный ареал.

Все факторы среды взаимосвязаны, и среди них нет абсолютно безразличных для любого организма. Популяция и вид в целом реагируют на эти факторы, воспринимая их по-разному. Такая избирательность обуславливает и избирательное отношение организмов к заселению той или иной территории.

Различные виды организмов предъявляют неодинаковые требования к почвенным условиям, температуре, влажности, свету и т. д. Поэтому на разных почвах, в разных климатических поясах произрастают различные растения. С другой стороны, в растительных ассоциациях формируются разные условия для животных. Приспосабливаясь к абиотическим факторам среды и вступая в определенные биотические связи друг с другом, растения, животные и микроорганизмы распределяются по различным средам и формируют многообразные экосистемы, объединяющиеся в биосферу Земли.

Следовательно, к каждому из факторов среды особи и формирующиеся из них популяции приспосабливаются относительно независимым путем. Экологическая валентность их по отношению к разным факторам оказывается неодинаковой. Каждый вид обладает специфическим экологическим спектром, т. е. суммой экологических валентностей по отношению к факторам среды.

3.2. Совместное действие экологических факторов

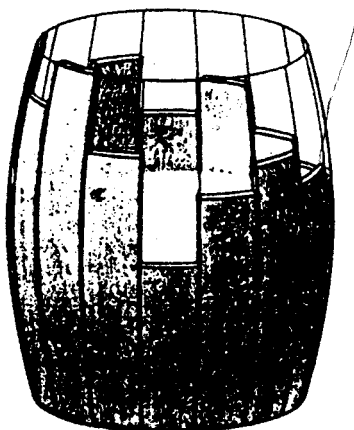
Экологические факторы обычно действуют не поодиночке, а целым комплексом. Действие одного какого-либо фактора зависит от уровня других. Сочетание с разными факторами оказывает заметное влияние на проявление оптимума в свойствах организма и на пределах их существования. Действие одного фактора не заменяется действием другого. Однако при комплексном воздействии среды часто можно видеть «эффект замещения», который проявляется в сходстве результатов воздействия разных факторов. Так, свет не может быть заменен избытком тепла или обилием углекислого газа, но, действуя изменениями температуры, можно приостановить фотосинтезирование растений или активность у животных и тем самым создать эффект диапаузы, как при коротком дне, а удлинив активный период, создать эффект длинного дня. И в то же время это не замещение одного фактора другим, а проявление количественных показателей экологических факторов. Это явление широко используется в практике растениеводства и зоотехнии.

В комплексном действии среды факторы по своему воздействию неравноценны для организмов. Их можно подразделить на *ведущие* (главные) и *фоновые* (сопутствующие, второстепенные). Ведущие факторы различны для разных организмов, если даже они живут в одном месте. В роли ведущего фактора на разных этапах жизни организма могут выступать то одни, то другие элементы среды. Например, в жизни многих культурных растений, таких, как злаки, в период прорастания ведущим фактором является температура, в период колошения и цветения — почвенная влага, в период созревания — количество питательных веществ и влажность воздуха. Роль ведущего фактора в разное время года может меняться. Так, в пробуждении активности у птиц (синицы, воробьи) в конце зимы ведущим фактором является свет, и в частности длина дня, то летом его действие становится равнозначным температурному фактору.

Ведущий фактор может быть неодинаков у одних и тех же видов, живущих в разных физико-географических условиях. Например, активность комаров, мошек, мокрецов в теплых районах определяется комплексом светового режима, тогда как на севере — изменениями температуры.

Понятие о ведущих факторах нельзя смешивать с понятием об *ограничивающих факторах*. Фактор, уровень которого в качественном или количественном отношении (недостаток или избыток) оказывается близким к пределам выносливости данного организма, называется *ограничивающим*, или *лимитирующим*. Ограничивающее действие фактора будет проявляться и в том

случае, когда другие факторы среды благоприятны или даже оптимальны. В роли ограничивающего фактора могут выступать как ведущие, так и фоновые экологические факторы.



Ю. Либих

Понятие о лимитирующих факторах было введено в 1840 г. химиком Ю. Либихом. Изучая влияние на рост растений содержания различных химических элементов в почве, он сформулировал принцип: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени». Этот принцип известен под названием *правила*, или *закона минимума, Либиха*. В качестве наглядной иллюстрации закона минимума Либиха часто изображают бочку, у которой образующие боковую поверхность доски имеют разную высоту (рис. 3.3).

Длина самой короткой доски определяет уровень, до которого можно наполнить бочку водой. Следовательно, длина этой доски — лимитирующий фактор для количества воды, которую можно налить в бочку. Длина других досок уже не имеет значения.

Рис. 3.3. «Бочка Либиха»

Поясним закон минимума Либиха на конкретных примерах. 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 мы теперь 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 так же, если кислотность (pH) почвы отклоняется от оптимума, например для озимой ржи, то никакие агротехнические мероприятия, кроме снижающего кислотность известкования, не помогут существенно увеличить урожайность этой культуры на данном поле. Закон минимума Либиха относится ко всем влияющим на организм абиотическим и биотическим факторам. Это может быть, например,

конкуренция со стороны другого вида, присутствие хищника и паразита. Сформулированный закон применим как к растениям, так и животным.

Лимитирующим фактором может быть не только недостаток, на что указывал Либих, но и избыток таких факторов, как, например, тепло, свет и вода. Как уже было отмечено ранее, организмы характеризуются экологическим минимумом и экологическим максимумом. Диапазоны между этими двумя величинами принято называть пределами устойчивости, выносливости или толерантности. Представление о лимитирующем влиянии максимума наравне с минимумом ввел В. Шелфорд (1913), сформулировавший закон *толрантности*. После 1910 г. по «экологии толерантности» были проведены многочисленные исследования, благодаря которым стали известны пределы существования для многих растений и животных. Таким примером по Г.В. Стадницкому, А.И. Родионову (1966) является влияние загрязняющего атмосферный воздух вещества на организм человека (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Влияние загрязняющего атмосферный воздух вещества на организм человека

В фактора обозначена символом C (первая буква латинского слова «концентрация»). В других же случаях при поступлении вещества в организм можно говорить не о концентрации, а о дозе вещества (фактора). При значениях концентрации $C_{\text{лет}}$ и $C'_{\text{лет}}$ человек погибнет, но необратимые изменения в его организме произойдут при значительно меньших значениях: $C_{\text{лим}}$ и $C'_{\text{лим}}$. Следовательно, истинный диапазон толерантности определяется именно последними значениями. Отсюда, их необходимо экспериментально, в опытах на животных, определить для каждого загрязняющего или любого вредного химического соединения и не допускать превышения его содержания в конкретной среде. В санитарной охране окружающей среды важны не нижние пределы устойчивости к вредным веществам, а *верхние пределы*, так как загрязнение окружающей среды — это и есть превышение устойчивости организма. Ставится задача или условие: фактическая концентрация загрязняющего вещества $C_{\text{факт}}$ не должна превышать $C_{\text{лим}}$ или:

$$C_{\text{факт}} \leq C_{\text{лим}}$$

Таким образом, $C_{\text{лим}}$ одновременно является пороговой концентрацией $C_{\text{пор}}$ и максимально допустимой $C_{\text{мах}}$ для организма человека. В санитарной охране окружающей среды $C_{\text{лим}}$ имеет смысл *предельно допустимой концентрации* — $C_{\text{пдк}}$ (или просто ПДК).

Ценность концепции лимитирующих факторов состоит в том, что она дает экологу отправную точку при исследовании сложных ситуаций. Изучая конкретную ситуацию, эколог может выделить слабые звенья и сфокусировать внимание на тех условиях среды, которые с наибольшей вероятностью могут оказаться критическими или лимитирующими. Если для организма характерен широкий диапазон выносливости (устойчивости, толерантности) к фактору, отличающемуся относительным постоянством, и присутствует в среде в умеренных количествах, вряд ли такой фактор является лимитирующим. Наоборот, если известно, что тот или иной организм обладает узким диапазоном толерантности к какому-то изменчивому фактору, то именно этот фактор и заслуживает внимательного изучения, так как он может быть лимитирующим. Так, содержание кислорода в наземных местообитаниях настолько велико и он столь доступен, что редко служит лимитирующим фактором для наземных организмов, за исключением паразитов, обитателей почв или больших высот. Тогда как в воде кислорода сравнительно мало, его содержание там нередко значительно варьируется, и вследствие этого для водных организмов, в первую очередь животных, он часто служит важным лимитирующим фактором. Поэтому эколог-гидробиолог всегда имеет наготове прибор для определения количества кислорода и измеряет содержание этого газа в ходе изучения любой незнакомой ситуации. Экологу же, изучающему наземные экосистемы, реже приходится измерять содержание кислорода. В целом же смысл анализа условий среды, например при оценке воздействия человека на природную среду, состоит в следующем:

- путем наблюдения, анализа и эксперимента обнаружить «функционально важные» факторы;
- определить, как эти факторы влияют на особей, популяции, сообщества, тогда удастся довольно точно предсказать результат нарушений среды или планируемых ее изменений.

4. ВАЖНЕЙШИЕ АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ

Абиотический, или неживой, компонент среды подразделяется на климатические, почвенные (эдафические), топографические и другие физические факторы, в том числе воздействие волн, морских течений, огня и т. д.

4.1. Излучение: свет

Свет является одним из важнейших абиотических факторов, особенно для фотосинтезирующих зеленых растений. Солнце излучает в космическое пространство громадное количество энергии. На границе земной атмосферы с космосом радиация составляет от 1,98 до 2 кал/см²·ин, или 136 МВт/см² («солнечная постоянная»).

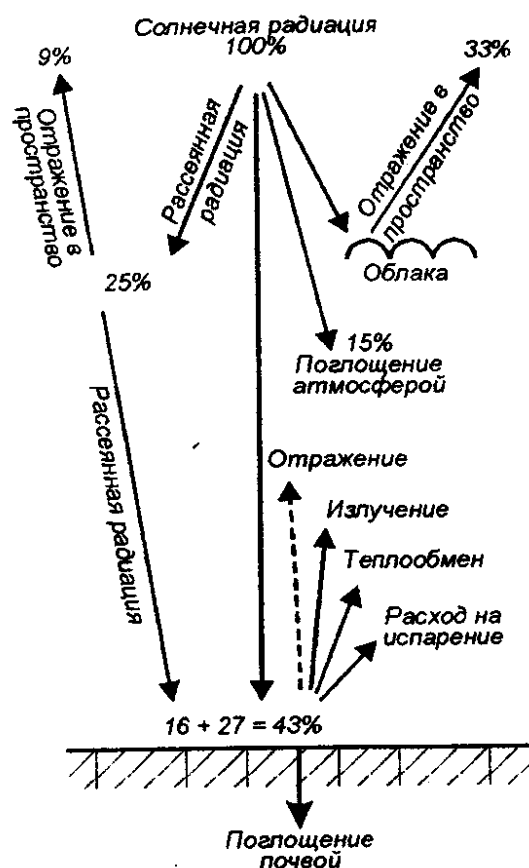


Рис. 4.1. Баланс солнечной радиации на земной поверхности в дневное время (из Т. К. Горышиной, 1979)

Как видно на рис. 4.1, 42% всей падающей радиации ($33 + 9\%$) отражается атмосферой в мировое пространство, 15% поглощается толщей атмосферы и идет на ее нагревание и только 43% достигает земной поверхности. Эта доля радиации состоит из *прямой радиации* (27%) — почти параллельных лучей, идущих непосредственно от Солнца и несущих наибольшую энергетическую нагрузку, и *рассеянной* (диффузной) радиации (16%) — лучей, поступающих к Земле со всех точек небосвода, рассеянных молекулами газов воздуха, капельками водяных паров, кристалликами льда, частицами пыли, а также отраженных вниз от облаков. Общую сумму прямой и рассеянной радиации называют *суммарной радиацией*.

Свет для организмов, с одной стороны, служит первичным источником энергии, без которого невозможна жизнь, а с другой — прямое воздействие света на протоплазму смертельно для организма. Таким образом, многие морфологические и поведенческие характеристики связаны с решением этой проблемы. Эволюция биосферы в целом была направлена главным образом на «укрощение» поступающего солнечного излучения, использование его полезных составляющих и ослабление вредных или на защиту от них. Следовательно, свет — это не только жизненно важный фактор, но и лимитирующий как на минимальном, так и максимальном уровне. С этой точки ни один из факторов так не интересен для экологии, как свет!

Среди солнечной энергии, проникающей в атмосферу Земли, на видимый свет приходится около 50% энергии, остальные 50% составляют тепловые инфракрасные лучи и около 1 % — ультрафиолетовые лучи (рис. 4.2).

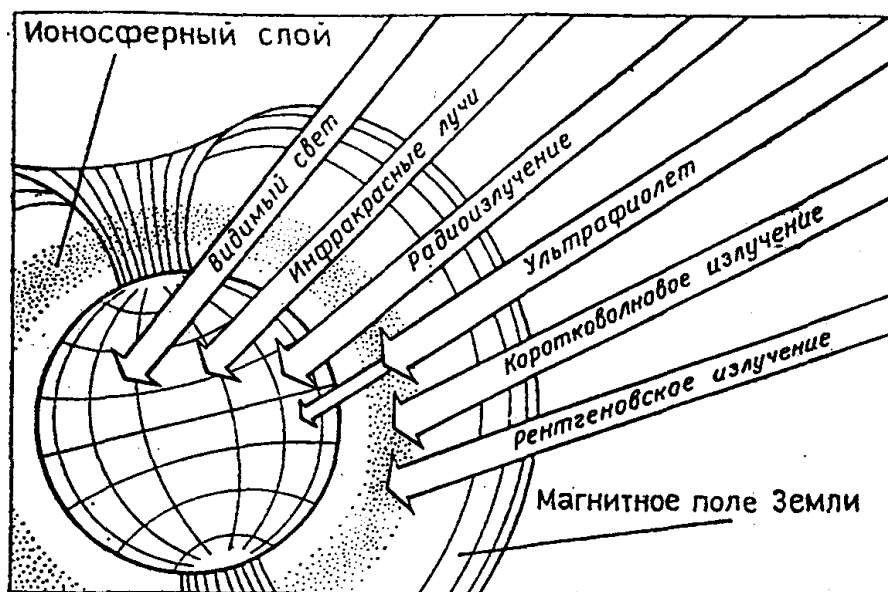


Рис. 4.2. Факторы космического воздействия на Землю

Видимые лучи («солнечный свет») состоят из лучей разной окраски и имеют разную длину волн (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Спектр солнечного света

Лучи	Длина волны в микрометрах (мкм)
Ультрафиолетовые	0,06-0,39
Фиолетовые	0,39-0,45
Синие	0,45-0,48
Голубые	0,48-0,50
Зеленые	0,50-0,56
Желтые	0,56 -0,58
Оранжевые	0,58-0,62
Красные	0,62-0,78
Инфракрасные	0,78 - до 4 мм

В жизни организмов важны не только видимые лучи, но и другие виды лучистой энергии, достигающие земной поверхности: ультрафиолетовые, инфракрасные лучи, электромагнитные (особенно радиоволны) и некоторые другие излучения. Так, ультрафиолетовые лучи с длиной 0,25—0,30 мкм

способствуют образованию витамина D в животных организмах, при длине волны 0,326 мкм в коже человека образуется защитный пигмент, а лучи с длиной волны 0,38—0,40 мкм обладают большей фотосинтетической активностью. Эти лучи в умеренных дозах стимулируют рост и размножение клеток, способствуют синтезу высокоактивных биологических соединений, повышая в растениях содержание витаминов, антибиотиков, увеличивают устойчивость к болезням.

Инфракрасное излучение воспринимается всеми организмами, например, воздействуя на тепловые центры нервной системы животных организмов, осуществляет тем самым у них регуляцию окислительных процессов и двигательные реакции как в сторону предпочитаемых температур, так и от них.

Особое значение в жизни всех организмов имеет видимый свет. С участием света у растений и животных протекают важнейшие процессы: фотосинтез, транспирация, фотопериодизм, движение, зрение у животных, прочие процессы (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Важнейшие процессы, протекающие у растений и животных с участием света

Фотосинтез. В среднем 1—5% падающего на растения света используется для фотосинтеза. Фотосинтез — источник энергии для всей остальной пищевой цепи.

Транспирация. Примерно 75% падающей на растения солнечной радиации расходуется на испарение воды и таким образом усиливает транспирацию.

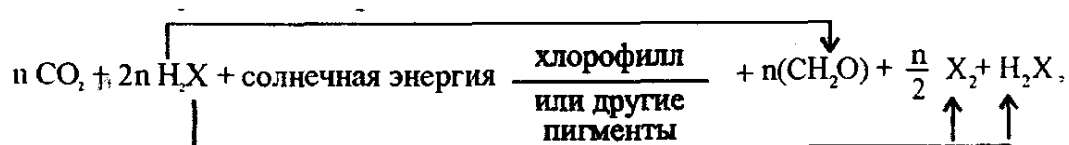
Фотопериодизм. Важен для синхронизации жизнедеятельности и поведения растений и животных (особенно размножения) с временами года.

Движение. Фотопериодизм и фотонастии у растений важны для того, чтобы обеспечить растению достаточную освещенность. Фототаксис у животных и одноклеточных растений необходим для нахождения подходящего местообитания.

Зрение у животных. Одна из главных сенсорных функций.

Прочие процессы. Синтез витамина D у человека. Длительное воздействие ультрафиолетовых лучей может вызывать повреждение тканей, особенно у животных. Выработались защитные приспособления — пигментации, поведенческие реакции избегания и т. д.

На свету происходит образование хлорофилла и осуществляется важнейший в биосфере процесс фотосинтеза. Фотосинтезирующая деятельность зеленых растений обеспечивает планету органическим веществом и аккумулированной в нем солнечной энергией — источником возникновения и фактором развития жизни на Земле. Основная реакция фотосинтеза может быть записана следующим образом:



где H_2X — «донор» электронов; H — водород; X — кислород, сера или другие восстановители (например, сульфобактерии используют в качестве восстановителя H_2S , другие же виды бактерий — органическую субстанцию, а

большинство зеленых растений, осуществляющих хлорофилльную ассимиляцию, — кислород).

Среди всех лучей солнечного света обычно выделяют лучи, которые так или иначе оказывают влияние на растительные организмы, особенно на процесс фотосинтеза, ускоряя или замедляя его протекание. Эти лучи принято называть физиологически активной радиацией (сокращенно ФАР). Наиболее активными среди ФАР являются оранжево-красные (0,65—0,68 мкм), сине-фиолетовые (0,40—0,50 мкм) и близкие ультрафиолетовые (0,38—0,40 мкм). Меньше поглощаются желто-зеленые (0,50—0,58 мкм) лучи и практически не поглощаются инфракрасные. Лишь далекие инфракрасные принимают участие в теплообмене растений, оказывая некоторое положительное воздействие, особенно в местах с низкими температурами.

Интенсивность фотосинтеза несколько варьирует с изменением длины волны света. В наземных средах жизни качественные характеристики солнечного света не настолько изменчивы, чтобы это сильно влияло на интенсивность фотосинтеза, при прохождении же света через воду красная и синяя области спектра отфильтровываются, и получающийся зеленоватый свет слабо поглощается хлорофиллом. Однако живущие в море красные водоросли (Rhodophyta) имеют дополнительные пигменты (фикоэритрины), которые позволяют им использовать эту энергию и жить на большей глубине, чем зеленые водоросли.

Лучи разной окраски различаются животными. Например, бабочки при посещении цветков растений предпочитают красные или желтые, двукрылые насекомые выбирают белые и голубые. Пчелы проявляют повышенную активность к желто-зеленым, сине-фиолетовым и фиолетовым лучам, не реагируют на красный, воспринимая его как темноту. Гремучие змеи видят инфракрасную часть спектра. Для человека область видимых лучей — от фиолетовых до темно-красных.

Каждое местообитание характеризуется определенным световым режимом, соотношением интенсивности (силы), количества и качества света.

Интенсивность, или *сила, света* измеряется количеством калорий или джоулей, приходящихся на 1 см² горизонтальной поверхности в минуту. Для прямых солнечных лучей этот показатель практически не изменяется в зависимости от географической широты. Существенное же на него влияние оказывают особенности рельефа. Так, на южных склонах интенсивность света всегда больше, чем на северных.

Количество света, определяемое суммарной радиацией, от полюсов к экватору увеличивается.

Для определения светового режима необходимо учитывать и количество отражаемого света—*альбедо*. Оно выражается в процентах от общей радиации и зависит от угла падения лучей и свойств отражающей поверхности.

Например, снег отражает 85% солнечной энергии, альбедо зеленых листьев клена составляет 10%, а осенних пожелтевших — 28%.

По отношению к свету различают следующие экологические группы растений: световые (светолюбы), теневые (тенелюбы) и теневыносливые.

Световые виды (гелиофиты) обитают на открытых местах с хорошей освещенностью, в лесной зоне встречаются редко.

Они образуют обычно разреженный и невысокий растительный покров, чтобы не затенять друг друга. Свет оказывает влияние на рост растений. Так, рост двухлетних дубов в зависимости от относительной освещенности в летний период показан на рис. 4.3.

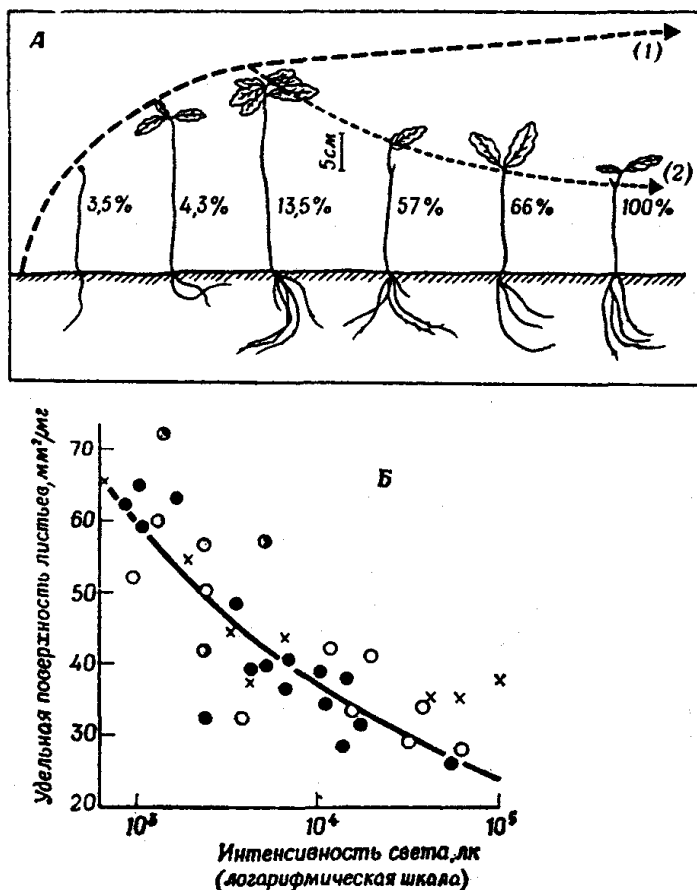


Рис. 4.3. Модифицирующее действие освещенности на рост и морфогенез растений (по В. Лархеру, 1978):

А — рост двухлетних дубов *Quercus robur* в зависимости от относительной освещенности летом;
Б — развитие листьев у *Ranunculus ficaria* в зависимости от освещенности

При световом довольствии до 13,5% преобладает стимулирующее действие света (рис. 4.3А, кривая 1), при большем освещении (А, кривая 2) — наоборот. Листья *Ranunculus ficaria* (рис. 4.3Б) развивают меньшую поверхность при большем освещении.

Теневые растения (сциофиты) не выносят сильного освещения, живут в постоянной тени под пологом леса. Это главным образом лесные травы. При резком освещении, например на вырубках, они проявляют явные признаки угнетения и часто погибают.

Теневыносливые растения (факультативные гелиофиты) живут при хорошем освещении, но легко переносят незначительное затенение. Это большинство растений лесов. Расположение листовых пластинок в пространстве значительно варьирует в условиях избытка и недостатка света. Так, листья гелиофитов нередко «увертываются», «отворачиваются» от избыточного света, а у теневыносливых растений, растущих при ослабленном

освещении, наоборот, листья направлены таким образом, чтобы получить максимальное количество падающей радиации. Это особенно хорошо заметно в лесу. При наличии в густом пологом древостоя просветов и «окон» листья растений нижних ярусов ориентированы по направлению к этому дополнительному источнику света. Затенение одних листьев другими уменьшается из-за их расположения в виде «листовой мозаики» (рис. 4.4).

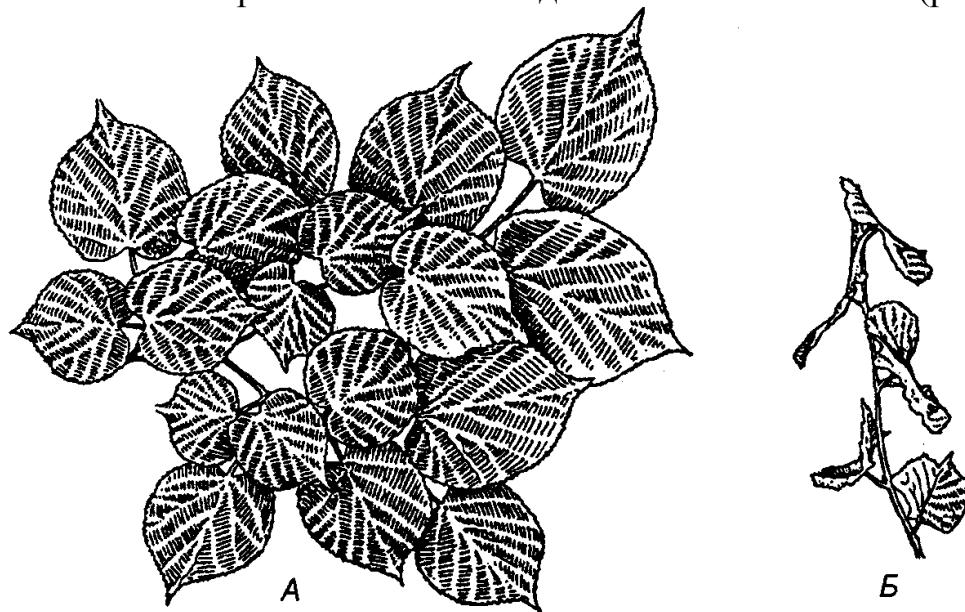


Рис. 4.4. Листорасположение у подростка липы мелколистной в разных условиях освещения (вид сверху):

А — под пологом леса, Б — на открытом месте (по Т. К. Горышиной, 1979)

Мелкие листья располагаются между крупными. Такая мозаика характерна как для древесной, так и травянистой растительности сильно затененных лесов.

Оптический аппарат гелиофитов развит лучше, чем у сциофитов, имеет большую фотоактивную поверхность и приспособлен к более полному поглощению света. На сухую массу в листьях гелиофитов приходится меньше хлорофилла, однако в них больше содержится пигментов I пигментной системы и хлорофилла P_{700} . Отношение хлорофилла d к хлорофиллу b равно примерно 5:1. Отсюда высокая фотосинтетическая способность гелиофитов. Интенсивность фотосинтеза достигает максимума при полном солнечном освещении.

У особой группы растений — гелиофитов, у которых фиксация CO_2 идет путем C-4-дикарбоновых кислот, световое насыщение фотосинтеза не достигается даже при самой сильной освещенности. Это растения из засушливых областей (пустынь, саванн), принадлежащие к 13 семействам цветковых растений (например, мятликовые, осоковые, амарантовые, маревые, гвоздичные и др.). Они способны к вторичной фиксации и реутилизации CO_2 , освобождающегося при световом дыхании, и могут фотосинтезировать при высоких температурах и при закрытых устьицах, что нередко наблюдается в жаркие часы дня.

Обычно С-4-растения отличаются высокой продуктивностью, особенно кукуруза и сахарный тростник.

Интенсивность света, падающего на автотрофный ярус, управляет всей экосистемой, влияя на первичную продукцию. Как у наземных, так и у водных растений интенсивность фотосинтеза связана с интенсивностью света линейной зависимостью до оптимального уровня светового насыщения, за которым во многих случаях следует снижение интенсивности фотосинтеза, при высоких интенсивностях прямого солнечного света. Таким образом, здесь вступает в действие компенсация факторов: отдельные растения и целые сообщества приспособляются к разным интенсивностям света, становясь «адаптированными к тени» или «адаптированными к прямому солнечному свету».

Интенсивность освещения влияет на активность животных, определяя среди них виды, ведущие сумеречный, ночной и дневной образ жизни. Ориентация на свет осуществляется в результате «*фототаксисов*»: положительного (перемещение в сторону наибольшей освещенности) и отрицательного (перемещение в сторону наименьшей освещенности). Так, в сумерки летают бабочки бражника, охотится еж. Майские хрущи начинают летать только в 21—22 ч и заканчивают лет после полуночи, комары же активны с вечера до утра. Ночной образ жизни ведет куница. Бесшумно, обследуя одно дерево за другим, отыскивает она гнезда белок и нападает на спящих зверьков.

Освещение вызывает у растений ростовые движения, которые проявляются в том, что из-за неравномерного роста стебля или корня происходит их искривление. Это явление носит название *фототропизма*.

Одностороннее освещение смещает в затененную сторону поток ростового гормона ауксина, направленного, как правило, строго вниз. Обеднение ауксином освещенной стороны побега приводит здесь к торможению роста, а обогащение ауксином затененной стороны — к стимуляции роста, что и вызывает искривление.

Движение Земли вокруг Солнца вызывает закономерные изменения длины дня и ночи по сезонам года. Сезонная ритмичность в жизнедеятельности организмов определяется в первую очередь сокращением световой части суток осенью и увеличением — весной. В действиях организмов выработались особые механизмы, реагирующие на продолжительность дня. Так, определенные птицы и млекопитающие поселяются в высоких широтах с длинным полярным днем. Осенью, при сокращении дня, они мигрируют на юг. Летом в тундре скапливается большое количество животных, и, несмотря на общую суровость климата, они при обилии света успевают закончить размножение. Однако в тундру практически не проникают ночные хищники. За короткую летнюю ночь они не могут прокормить ни себя, ни потомство.

Уменьшение светового дня в конце лета ведет к прекращению роста, стимулирует отложение запасных питательных веществ организмов, вызывает у животных осенью линьку, определяет сроки группирования в стаи, миграции, переход в состояние покоя и спячки. Увеличение длины светового дня

стимулирует половую функцию у птиц, млекопитающих, определяет сроки цветения растений (ольха, мать-и-мачеха и др.).

Растения, развитие которых нормально происходит при длинном дне, называют *длиннодневными*. Это растения наших северных зон и средней полосы (рожь, пшеница, луговые злаки, клевер, фиалки и др.). Другие растения нормально развиваются при сокращенном световом дне. Их называют *короткодневными*. К ним относятся выходцы из южных районов (гречиха, просо, подсолнечник, астры и др.).

Доказана способность птиц к навигации. При дальних перелетах они с поразительной точностью выбирают направление полета, преодолевая иногда многие тысячи километров от гнездовий до мест зимовок (рис. 4.5), ориентируясь по солнцу и звездам, т. е. *астрономическим* источникам света. Днем птицы учитывают не только положение Солнца, но и смещение его в связи с широтой местности и временем суток

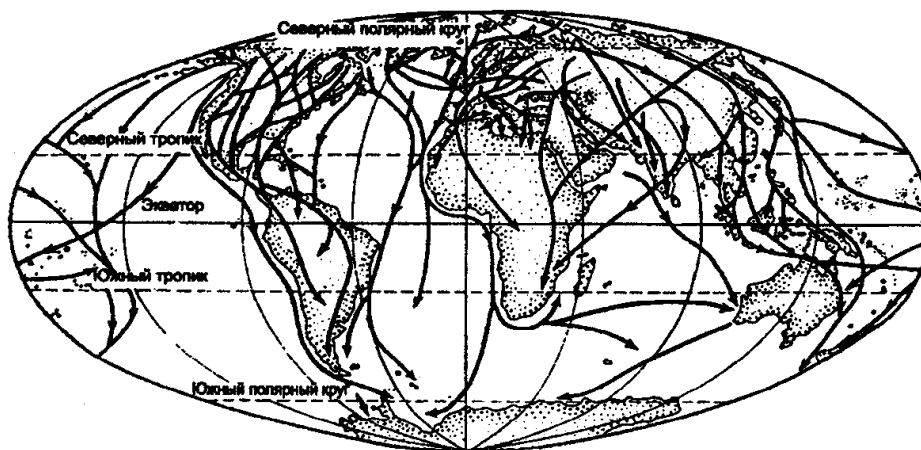


Рис. 4.5. Главнейшие пути пролетных путей птиц
(по Н. О. Реймерсу, 1990)

Опыты показали, что ориентация птиц меняется при изменении картины звездного неба в соответствии с направлением предполагаемого перелета. Навигационная способность птиц врожденная, создается естественным отбором, как система инстинктов. Способность к ориентации свойственна и другим животным. Так, пчелы, нашедшие нектар, передают другим информацию о том, куда лететь за взятком. Ориентиром служит положение солнца. Пчела-разведчица, открывшая источник корма, возвращаясь в улей, начинает на сотах танец, описывая фигуру в виде восьмерки, с наклоном поперечной оси по отношению к вертикали, соответствующим углу между направлениями на солнце и на источник корма (рис. 4.6). Угол наклона восьмерки постепенно смещается в соответствии с движением солнца по небу, хотя пчелы в темном улье и не видят его.

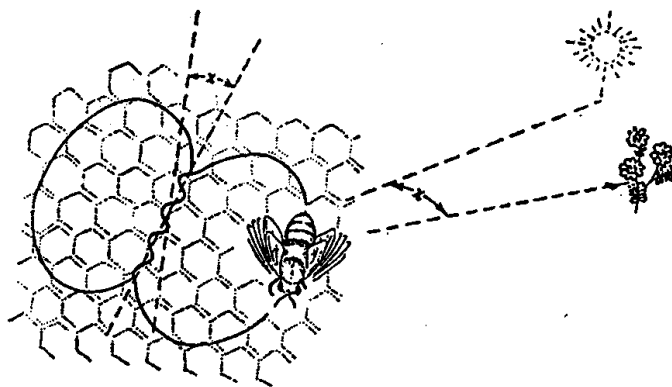


Рис. 4.6. «Виляющий» танец пчел (по В. Е. Кипяткову, 1991)

При облачной погоде пчелы ориентируются на поляризованный свет свободного участка неба. Плоскость поляризации света зависит от положения солнца. Определенное сигнальное значение в жизни животных имеет *биолюминесценция*, или способность животных организмов светиться в результате окисления сложных органических соединений люцифериннов с участием катализаторов люцифераз, как правило, в ответ на раздражения, поступающие из внешней среды (рис. 4.7).

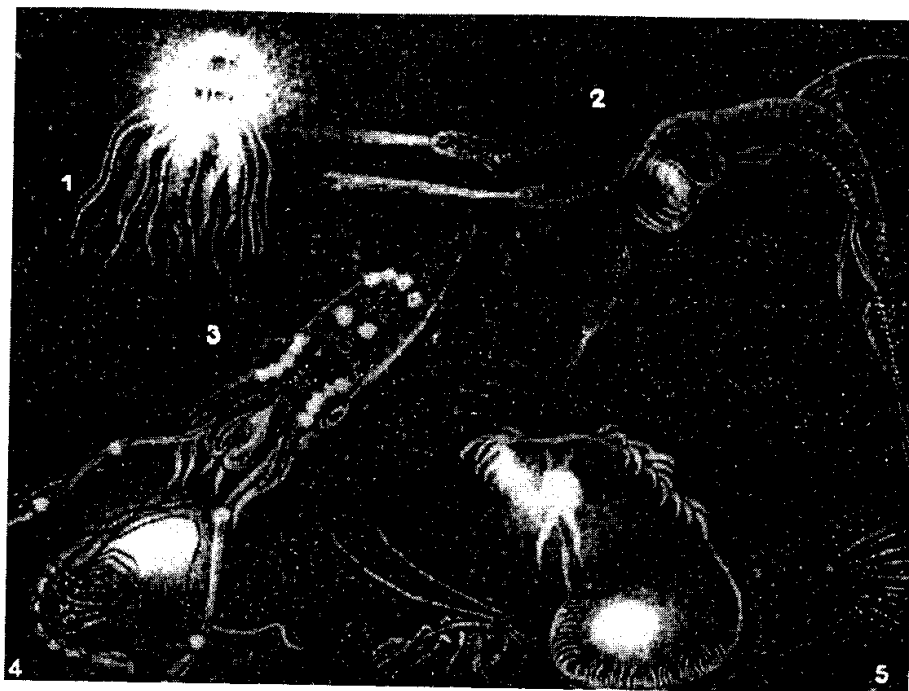


Рис. 4.7. Светящиеся животные:

1 — медуза; 2 — рыба-дракон, нападающая на светящихся анчоусов; 3 — глубоководный кальмар; 4 — глубоководная креветка, защищаясь, выбрасывает светящееся облако; 5 — глубоководный удильщик, приманивающий жертву.

Световые сигналы, испускаемые животными, зачастую служат для привлечения особей противоположного пола, приманивания добычи, отпугивания хищников, для ориентации в стае и т. д. (рыбы, головоногие моллюски, жуки семейства светляков и др.). Следовательно, растениям свет необходим в первую очередь для осуществления фотосинтеза — важнейшего процесса в биосфере по накоплению энергии и созданию органического

вещества. Для животных он имеет главным образом информационное значение.

4.2. Температура

Тепловой режим — важнейшее условие существования живых организмов, так как все физиологические процессы в них возможны при определенных условиях. Главным источником тепла является солнечное излучение.

Солнечная радиация превращается в экзогенный, находящийся вне организма, источник тепла во всех случаях, когда она падает на организм и им поглощается. Сила и характер воздействия солнечного излучения зависят от географического положения и являются важными факторами, определяющими климат региона. Климат же определяет наличие и обилие видов растений и животных в данной местности. Диапазон существующих во Вселенной температур равен тысячам градусов (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Состав атмосферы и температура на планетах

Содержание газов в атмосфере, %	Марс	Венера	Земля без жизни	Земля
Двуокись углерода	95	98	98	0,03
Азот	2,7	1,9	1,9	78
Кислород	0,13	Следы	Следы	21
Температура, °C	-55	457	290±50	15

По сравнению с ними пределы, в которых может существовать жизнь, очень узки — около 300°C, от -200°C до +100°C. На самом деле большинство видов и большая часть активности приурочены к более узкому диапазону температур (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Температурный диапазон активной жизни на Земле, °C

Среда жизни	Максимум	Минимум	Амплитуда
Суша	55	-70	125
Моря	35,6	-3,3	38,9
Пресные воды	93	0	93

Как правило, эти температуры, при которых возможно нормальное строение и функционирование белков: от 0 до +50°C. Однако целый ряд организмов обладает специализированными ферментными системами и приспособлен к активному существованию при температуре тела, выходящей за названные выше пределы.

Температурный фактор характеризуется ярко выраженными как сезонными, так и суточными колебаниями. В ряде районов Земли это действие фактора имеет важное сигнальное значение в регуляции сроков активности организмов, обеспечении их суточного и сезонного режимов жизни.

При характеристике температурного фактора очень важно учитывать его крайние показатели, продолжительность их действия, повторяемость. Выходящие за пределы терпимости организмов изменения температуры в местах обитания приводят к массовой их гибели. Значение температуры заключается и в том, что она изменяет скорость протекания физико-химических процессов в клетках, отражающихся на всей жизнедеятельности организмов. Температура влияет на анатомо-морфологические особенности организмов, ход физиологических процессов, их рост, развитие, поведение и во многих случаях определяет географическое распространение растений и животных.

Как к экологическому фактору, по отношению к температуре все организмы подразделяются на две группы: *холодолобивые* и *теплолюбивые*. Холодолобивые организмы, или *криофилы*, способны жить в условиях сравнительно низких температур и не выносят высоких. Кριοфилы могут сохранять активность при температуре клеток до -8 и -10°C , когда жидкости их тела находятся в переохлажденном виде. Характерно для представителей разных групп, например бактерий, грибов, моллюсков, членистоногих, червей и др. Кριοфилы населяют холодные и умеренные зоны. Холодостойкость растений весьма различна и зависит от условий, в которых они обитают.

Так, древесные и кустарниковые породы Якутии не вымерзают при -70°C , в Антарктиде при такой же температуре обитают лишайники, отдельные виды водорослей, ногохвостки, пингвины. В лабораторных экспериментах семена, споры и пыльца растений, коловратки, нематоды, цисты простейших после обезвоживания переносят температуры, близкие к абсолютному нулю, т.е. до $-271,16^{\circ}\text{C}$, возвращаясь после этого к активной жизни. Приостановка всех жизненных процессов организма называется *анабиозом*. Из анабиоза живые организмы возвращаются к нормальной жизни при условии, если не была нарушена структура макромолекул в их клетках.

У теплолюбивых, или *термофилов*, жизнедеятельность приурочена к условиям довольно высоких температур (табл. 4.5).

Это преимущественно обитатели жарких, тропических районов Земли. Среди многочисленных беспозвоночных (насекомые, паукообразные, моллюски, черви), холодно- и теплокровных позвоночных имеется много видов и целый отряд, обитающие исключительно в тропиках. Настоящими термофилами являются растения жарких тропических районов. Они не переносят низких температур и нередко гибнут уже при 0°C , хотя физического замораживания их тканей и не происходит. Причинами гибели здесь обычно называют нарушение обмена веществ, подавление физиологических процессов, что приводит к образованию в растениях не свойственных им продуктов, в том числе и вредных, вызывающих отравление.

Таблица 4.5

**Примеры видов, обладающих различной
устойчивостью к температуре**

Стенотермные теплолюбивые	Стенотермные холодолобивые
---------------------------	----------------------------

Рачок <i>Thermosbaena mirabilis</i> живет при температуре 45-48°C и погибает, если температура падает ниже 30°C	при Ногохвостки, долгоножки активны при температуре ниже 0°C и вплоть до -10°C
Насекомые-эктопаразиты млекопитающих и птиц зависят от температуры тела животных	Двукрылые активны при температуре между 5 и 10°C в солнечные часы дня. Эти виды очень чувствительны к повышению температуры Животные — обитатели больших глубин способны переносить температуры, близкие к 0°C

Многие организмы обладают способностью переносить очень высокие температуры. Например, некоторые виды жуков и бабочек, пресмыкающиеся выдерживают температуру до 45—50 °С. В горячих источниках Калифорнии при температуре 52 °С обитает рыбка пятнистой ципринодон, в водах горячих ключей на Камчатке постоянно живут сине-зеленые водоросли при температуре 75—80 °С, верблюжья колючка переносит нагревание воздуха до 70 °С. Таким образом, общие закономерности воздействия температуры на живые организмы проявляются в их способности существовать в определенном диапазоне температуры. Этот диапазон ограничен *нижней* летальной (смертельной) и *верхней* летальной температурой.

Температура, наиболее благоприятная для жизнедеятельности и роста, называется *оптимальной* (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Оптимальные температуры для выращивания растений

Растение	Температура, °С	
	Дневная	Ночная
Фиалка африканская	23	18
Петуния	28	16
Цинния	27	18
Левкой	16	13
Маргаритка	16	9
Астра	24	16
Томаты	24	18
Эшшольция	18	10

Температурный оптимум большинства живых организмов находится в пределах 20—25 С, и лишь у обитателей жарких, сухих районов температурный оптимум жизнедеятельности находится несколько выше 25—28°C. Например, некоторые прямокрылые (кузнечики) проявляют полуденную активность в условиях пустыней Палестины при температуре 40°C и выше.

Для организмов умеренных и холодных зон России оптимальные температуры от 10 до 20°C. Так, у ветреницы дубравной процесс фотосинтеза наиболее интенсивно протекает при 10°C.

В зависимости от ширины интервала температуры, в которой данный вид может существовать, организмы делятся на *эвритермные* и *стенотермные*. Эвритермные организмы выдерживают широкие колебания температуры, стенотермные живут лишь в узких пределах.

К эвритермным относится большинство организмов районов с континентальным климатом. Многие из них имеют покоящиеся стадии, переносящие особенно широкий диапазон температуры (покоящиеся яйца, цисты, куколки насекомых, находящиеся в состоянии анабиоза, взрослые животные, споры бактерий, семена растений).

Беспозвоночные, рыбы, амфибии и рептилии лишены способности поддерживать температуру тела в узких границах. Их называют *пойкилотермными* (от греч. poikilos — разный). Данных животных часто называют также *эктотермными*, так как они больше зависят от тепла, поступающего извне, чем от того тепла, которое образуется в обменных процессах. Характерна низкая интенсивность обмена и отсутствие механизма сохранения тепла. Раньше этих животных обычно называли холодокровными, но этот термин неточен и может вводить в заблуждение.

Птицы и млекопитающие способны поддерживать достаточно постоянную температуру тела независимо от окружающей температуры. Этих животных называют *гомойотермными* (от греч. homoios — подобный) или, по старой терминологии, что менее правильно, теплокровными. Гомойотермные животные относительно мало зависят от внешних источников тепла. Благодаря высокой интенсивности обмена у них вырабатывается достаточное количество тепла, которое может сохраняться. Поскольку эти животные существуют за счет внутренних источников тепла, их называют в настоящее время чаще *эндотермными*.

Растения и животные в ходе длительного эволюционного развития, приспособляясь к периодическим изменениям температурных условий, выработали в себе различную потребность к теплу в разные периоды жизни. Например, прорастание семян растений происходит при более низких температурах, чем последующий их рост. Семена пшеницы, овса, ячменя прорастают при 1—2°C, всходы же появляются при 4—5°C. В период цветения растениям, как правило, необходимо больше тепла, чем в период созревания семян, плодов. Томаты лучше растут и развиваются, когда температура днем 25—26 °C, ночью 17—18°C. Температурный оптимум живых организмов зависит и от других экологических факторов. Установлено, что при полном освещении и избытке углекислого газа в воздухе оптимальная температура фотосинтеза 30 °C, а при слабом освещении и недостатке углекислого газа она снижается до 10°C (рис. 4.8).

При характеристике температуры необходимо различать температуру воздуха и температуру почвы, разность между ними. Для растений это особенно важно, так как они способны поглощать питательные вещества из почвы при условии, если температура почвы будет на несколько градусов ниже температуры воздуха. Например, гречиха достигает наилучшего развития, когда температура близ корней равна 10°C, а у надземных частей 22°C. При температуре почвы и воздуха 22°C состояние растений резко ухудшается, и они не дают цветков. При дальнейшем повышении температуры почвы до 34°C, когда надземные органы остаются при 22°C, у растений наблюдается отмирание верхушек почек, стеблей, а впоследствии погибает все растение.

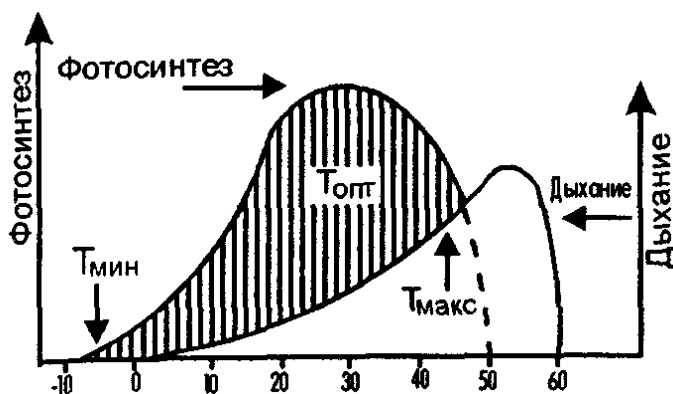


Рис. 4.8. Соотношение между фотосинтезом и дыханием в зависимости от температур

При оптимальных температурах у всех организмов физиологические процессы протекают наиболее интенсивно, что способствует увеличению темпов их роста. Здесь к биологическим процессам вполне приемлемо *правило Вант-Гоффа* (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 1998).

Так, если скорость V_T реакции измерена при двух температурах T_1 и T_2 , причем $T_1 < T_2$, то температурный коэффициент Вант-Гоффа:

$$Q_{10} = V_2 / V_1^{10/\Delta T}$$

Зависимость скорости реакции от температуры может быть выражена уравнением Аррениуса:

$$V_T = A_V [\exp(-E^*/RT)] \quad (4.2)$$

где A_V — фактор частоты событий, называемый также константой Аррениуса;

E^* — энергия активации данной реакции (Дж/моль), необходимая для преодоления потенциального барьера реакции;

R — газовая постоянная [8,3144 Дж/(моль · К)];

T — абсолютная температура, К.

В диапазоне температур 15 — 40 °С (288—313 К) значения Q_{10} большинства биохимических процессов лежат между 1,5 и 2,5, а значения E^* — между 30 и 65 кДж/моль.

Исходя из этого правила скорость химических реакций возрастает в 2—3 раза при повышении температуры на каждые 10°С. При температурах выше или ниже оптимальных скорость биохимических реакций в организме снижается или вообще нарушается. И как итог — замедление темпов роста и даже гибель организма.

В пределах от верхних оптимальных до верхних максимальных и от нижних минимальных до нижних оптимальных температур лежат диапазоны верхнего и нижнего *пессимума*. Развитие растений при температурном пессимуме осуществляется замедленными темпами и затягивается на

длительное время.

Активность животных также ограничивается пессимумами. У насекомых повышение температуры вызывает вначале медленные, некоординированные движения, в физиологической области (оптимум) приводит к полностью управляемой активности, а при дальнейшем повышении — к чрезмерно быстрым, некоординированным, суматошным движениям. Так, муха цеце при температуре ниже 8°C неподвижна, при 10°C начинает бегать, выше 14°C при дополнительном раздражении взлетает, а выше 21°C летает сонливо.

Температурный оптимум разных видов и стадий развития у насекомых также неодинаков. Например, оптимальная температура развития яиц озимой совки (*Agrotis segetum*) 25°C, гусениц 22 °C, а куколок 19°C.

Крайне минимальные и максимальные температуры нижнего и верхнего пессимумов называются соответственно нижним и верхним *порогом развития*, или нижним и верхним *биологическим нулем*, за пределами которого развитие организма не происходит.

Температуры, лежащие выше нижнего порога развития и не выходящие за пределы верхнего, получили название эффективных температур. Для растений и эктотермных животных количество тепла, необходимого для развития, определяется суммой эффективных температур или суммой тепла. Зная нижний порог развития, легко определить эффективную температуру — по разности наблюдаемой и пороговой температур. Так, если нижний порог развития организма равен 10°C, а реальная в данный момент температура воздуха 25°C, то эффективная температура будет 15°C (25°—10°). Сумма эффективных температур определяется по формуле:

$$C = (t - t_1) \cdot n, \quad (4.3)$$

где С — сумма эффективных температур;

t — температура окружающей среды (реальная, наблюдаемая);

t₁ — температура порога развития;

n — продолжительность (длительность) развития в днях, часах.

Сумма эффективных температур для каждого вида растений и эктотермных животных, как правило, величина постоянная, при том, что если другие условия среды находятся в оптимуме, отсутствуют осложняющие факторы. При отклонении этих условий или при сравнении особей из разных частей ареала результаты могут быть искажены. Например, в Северо-Западном регионе России цветение мать-и-мачехи начинается при сумме эффективных температур равной 77, кислицы — 453, земляники — 500, желтой акации — 700°C. Ограничивающим фактором географического расположения видов нередко является сумма эффективных температур, которую нужно набрать для завершения жизненного цикла. Так, северная граница древесной растительности в целом совпадает с июльскими изотермами 10, 12°C. Севернее уже не хватает тепла для развития деревьев, и зона лесов сменяется безлесными тундрами.

Развитие эндотермных животных в меньшей степени зависит от температуры окружающей среды. И тем не менее и им свойствен определенный температурный оптимум и пессимум тех или иных физиологических процессов.

У крупного рогатого скота повышение температуры в помещениях при их содержании до 15 °С или понижение до 7 °С приводит к снижению плодovitости.

Живые организмы в процессе эволюции выработали различные формы адаптации к температуре, среди них морфологические, биохимические, физиологические, поведенческие и т. д. Растения не имеют собственной температуры тела и по отношению к тепловому фактору обладают определенной спецификой. Одно из важнейших приспособлений к температуре у растений — форма их роста. Там, где тепла мало — в Арктике, в высокогорье, много подушковидных растений, растений с прикорневыми розетками листьев, стелющихся форм. Так, у стланцевых форм карликовой березы, ели, можжевельника и кедровника верхние ветви, поднимающиеся высоко над землей, большей частью полумертвые или мертвые, а стелющиеся — живые, так как зимуют под снегом и не подвергаются отрицательному воздействию низких температур. Все это позволяет растениям улавливать максимум тепла солнечных лучей, а также использовать тепло нагретой поверхности почвы (рис.4.9).



Рис. 4.9. Кедровый стланник — *Pinus pumila*
(из Д. П. Шенникова, 1950)

Температурный фактор на развитие приземистых форм растений может действовать как непосредственно, так и косвенно, вызывая нарушения водоснабжения и минерального питания.

Наиболее значительна роль прямого влияния температур в процесса геофилизации растений (рис. 4.10).

Геофилизация — это погружение базальной (нижней) части растения в почву — сначала гипокотилия, затем эпикотилия, первого междоузлия и т. д. Это характерно преимущественно покрытосеменным растениям. Геофилизация в ходе их исторического развития играла значительную роль в трансформации жизненных форм от деревьев до трав.

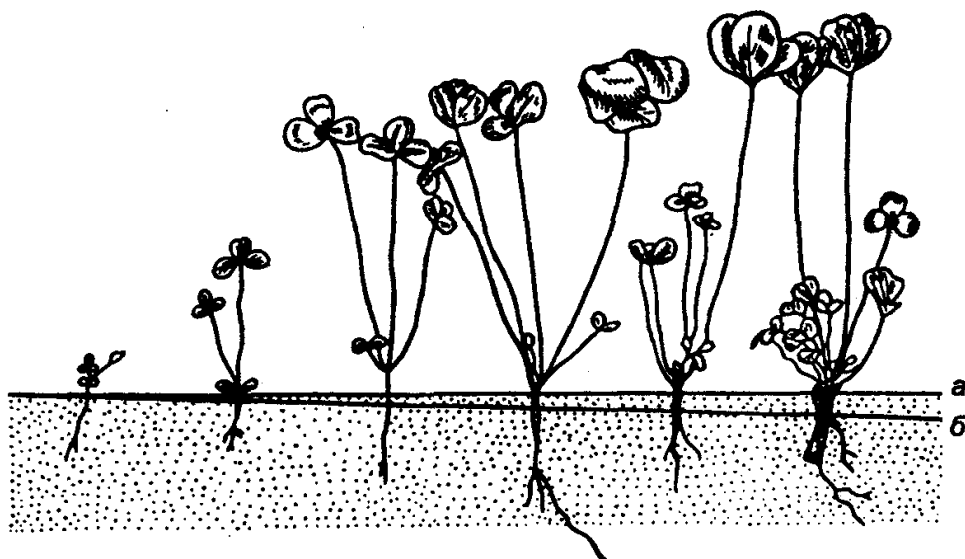


Рис. 4.10. Геофилизация (втягивание в почву) подсемядольного колена клевера лугового (*Trifolium pratense*), по П. Лисицину:
а — поверхность почвы; б — глубина втягивания

Сильные холода и чрезвычайная жара нередко ограничены во времени, и растения избегают их воздействия, сбрасывая чувствительные части, или редуцируют свое вегетативное тело до подземных многолетних органов. При наступлении благоприятных условий они вновь образуют надземные органы. Здесь важно знать и устойчивость к температуре различных органов с учетом их функций. Особенно чувствительны к низким температурам (холоду) *репродуктивные органы* — зачатки цветков в зимующих почках и завязи в цветках (рис. 4.11).

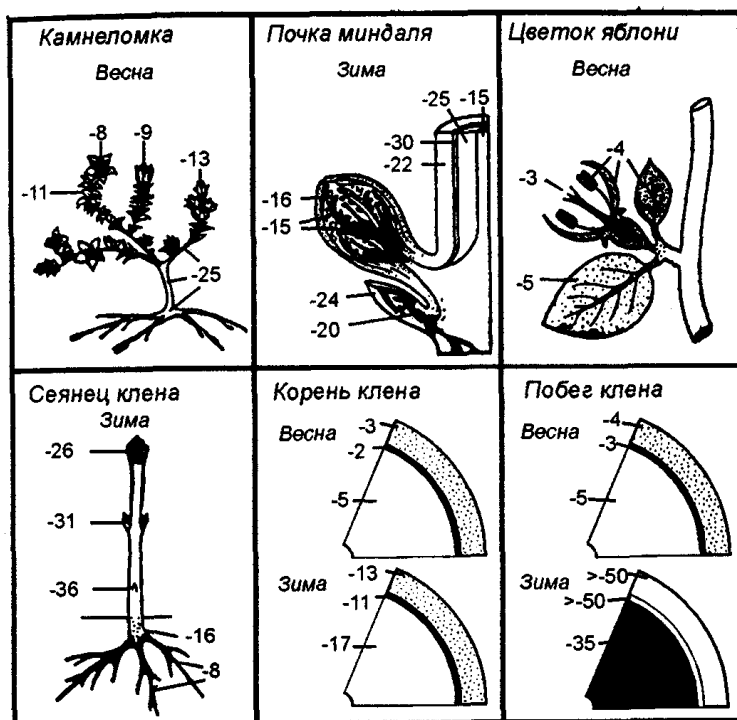


Рис. 4.11. Холодостойкость отдельных органов и тканей разных растений (по В. Лархеру, 1978)

При распространении растений необходимо учитывать устойчивость цветков в почках, самих цветков, семян и незащищенных молодых растений или наиболее чувствительных стадий развития, которые большей частью ограничивают сохранение и расселение вида, так называемое *правило Тинеманна*.

Распространена у растений жарких мест способность впадать в состояние вынужденного покоя.

У животных морфологические адаптации к температуре прослеживаются четко. Под действием теплового фактора у животных формируются такие морфологические признаки, как отражательная поверхность тела, пуховой, перьевой и шерстный покровы у птиц и млекопитающих, жировые отложения. Большинство насекомых в Арктике и высоко в горах имеет темную окраску. Это способствует усиленному поглощению солнечного тепла. Темный пигмент яиц многих водных животных выполняет ту же функцию. Эндотермные животные, обитающие в холодных областях (полярные медведи, киты и др.), имеют, как правило, крупные размеры, тогда как обитатели жарких стран (например, многие насекомоядные млекопитающие) обычно меньше по размерам. Это явление носит название *правила Бергмана*. Согласно этому правилу, при продвижении на север средние размеры тела в популяциях эндотермных животных увеличиваются (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Изменение размера тела животных с широтой (по Бергману)

Вид	Район	Длина тела, см	Масса, кг
Волк	Таймыр	До 137	До 49
	Монголия	До 120	До 40
Лиса	Среднерусская равнина	До 90	До 10
	Туркмения	До 57	До 3,2

При увеличении размеров уменьшается относительная поверхность тела, а следовательно, и теплоотдача.

Размеры выступающих частей тела также варьируют в соответствии с температурой среды. У видов, живущих в более холодном климате, различные выступающие части тела (хвост, уши, конечности и др.) меньше, чем у родственных видов из более теплых мест. Это явление известно как *правило Аллена*. Правило Аллена наглядно проявляется при сравнении длины ушей у трех видов лисиц, обитающих в разных географических областях рис. 4.12).



Рис. 4.12. Различия в длине ушей у трех видов лисиц, обитающих в разных географических областях (по Н. Грину и др., 1993)

Третье правило (носит название правила Глогера) гласит, что окраска животных в холодном и сухом климате сравнительно светлее, чем в теплом и влажном. Эти правила (часто их называют законами), управляющие адаптациями млекопитающих, равным образом относятся и к человеку.

Биохимическая адаптация живых организмов к температуре проявляется прежде всего в изменении физико-химического состояния веществ, содержащихся в клетках и тканях. Так, при адаптации к низким температурам в клетках растения благодаря увеличению запаса пластических веществ повышается концентрация растворов, увеличивается осмотическое давление клеточного сока, уменьшается содержание свободной воды, не связанной в коллоиды. И это очень важно, так как «связанная» вода трудно испаряется и замерзает, слабо отжимается под давлением, обладает большой плотностью и в значительной степени утрачивает свойство растворителя. Она становится кристаллической по структуре и в то же время сохраняет жидкое состояние. Между частицами цитоплазмы и водой устанавливается единство структуры, обеспечивающее ей таким образом вхождение в структуру макромолекул белков и нуклеиновых кислот. В таком состоянии ее трудно заморозить, перевести в твердое состояние. Важным приспособлением к низким температурам является и отложение запасных питательных веществ в виде высокоэнергетических соединений — жира, масла, гликогена и др. Так, И.М. Васильев (1970) описал значение отложения запасных веществ в растении в форме масла. Он утверждает, что масло прежде всего вытесняет воду из вакуоли и этим предохраняет растительный организм от замерзания. Масло, откладываясь в цитоплазме, делает ее более стойкой к морозу и к другим неблагоприятным воздействиям зимнего периода. Такую же роль играют откладываемые в протоплазму и вакуоли крахмал и белки. Большое значение

имеют и те биохимические изменения в запасных питательных веществах, которые протекают в период подготовки к зимнему состоянию. Так, значительная часть накопленного в летний период крахмала вновь превращается в сахар. При этом появляются сахара, которых обычно мало содержится в клетках летом. Например, зимой в клетках тканей коры у хвойных помимо сахарозы, глюкозы и фруктозы появляются стахиоза и рафиноза. В летний период они содержатся в других частях растения.

К тканевым механизмам приспособления к действию низких температур относится своеобразное распределение резервных энергетических веществ в теле организмов. При адаптации к холоду, по данным исследований, у организмов происходит «перемещение» веществ в органах. У тех или иных видов растений нередко к зиме масла и сахара откладываются в тканях надземных органов, а в подземных органах — крахмал. При этом в районах с очень низкими температурами у растений отмечается значительное накопление масла во внутренних слоях древесины, что повышает их устойчивость к сильным морозам. У животных, и в первую очередь обитателей полярных областей, с понижением температуры возрастает содержание гликогена в печени, повышается содержание аскорбиновой кислоты в тканях почек. У млекопитающих большое скопление питательных веществ наблюдается в бурой жировой ткани в непосредственной близости от жизненно важных органов — сердца и спинного мозга — и имеет приспособительный характер. В митохондриях клеток этой ткани при клеточном дыхании не синтезируется АТФ, а вся энергия рассеивается в виде тепла.

Многие животные к зиме накапливают жир. Подкожный жировой слой обеспечивает им теплоизоляцию. У ряда животных в выступающих или поверхностных частях тела (лапы некоторых птиц, ласты китов) есть замечательное приспособление под названием «чудесная сеть». Это сплетение сосудов, в котором вены тесно прижаты к артериям. Кровь, текущая по артериям, отдает тепло венам, оно возвращается к телу, а артериальная кровь поступает в конечности охлажденной. Конечности, по существу, пойкилотермны, зато температуру остального тела можно поддерживать с меньшими затратами энергии. На основе физиологических процессов многие организмы способны в определенных пределах менять температуру своего тела. Эта способность называется *терморегуляцией*. Как правило, терморегуляция сводится к тому, что температура тела поддерживается на более постоянном уровне по сравнению с температурой окружающей среды. Особенно совершенны механизмы терморегуляции у эндотермных животных. Как уже было отмечено ранее, эндотермные животные способны вырабатывать достаточное количество тепла и регулировать теплоотдачу, поэтому равенство прихода и расхода тепла сохраняется (рис. 4.13).

Система терморегуляции млекопитающих и птиц включает рецепторы, эффекторы и чрезвычайно чувствительный регуляторный центр в гипоталамусе. Этот центр следит за температурой крови, отражающей температуру тех органов, через которые она протекает.

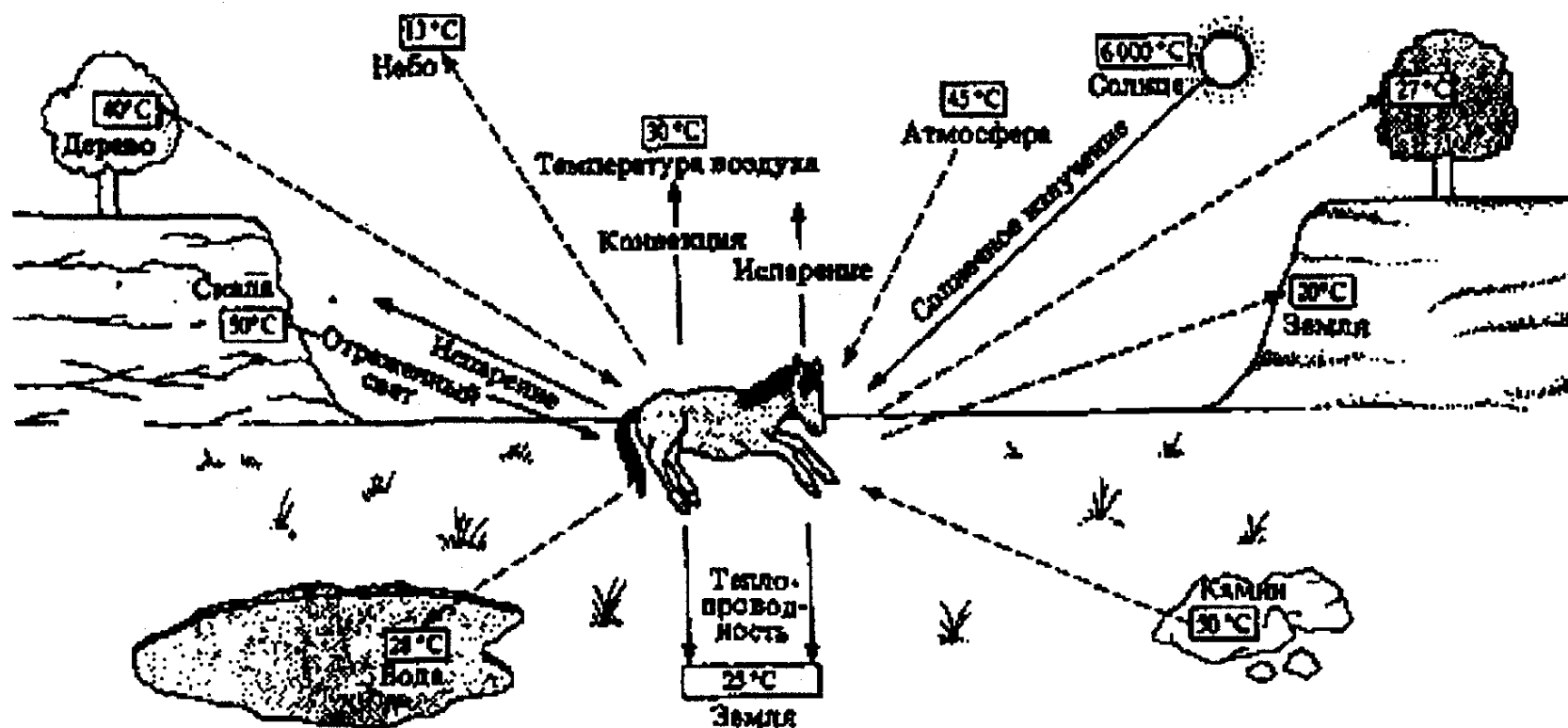


Рис.4.13. Схема теплообмена между телом лошади (температура 38°C) и окружающей средой в жаркий солнечный день при температуре воздуха 30°C. Прерывистыми линиями показана передача тепла путем излучения

Поддерживать температуру тела на постоянном уровне животным помогает испарение жидкости с поверхности тела при высоких температурах окружающей среды. У человека для этого служит потоотделение, у собак и многих птиц — учащенное дыхание. Некоторые сумчатые в жару обмазывают кожу обильной слюной.

Пути теплообмена между пойкилотермным организмом и окружающей средой показаны на рис. 4.14.

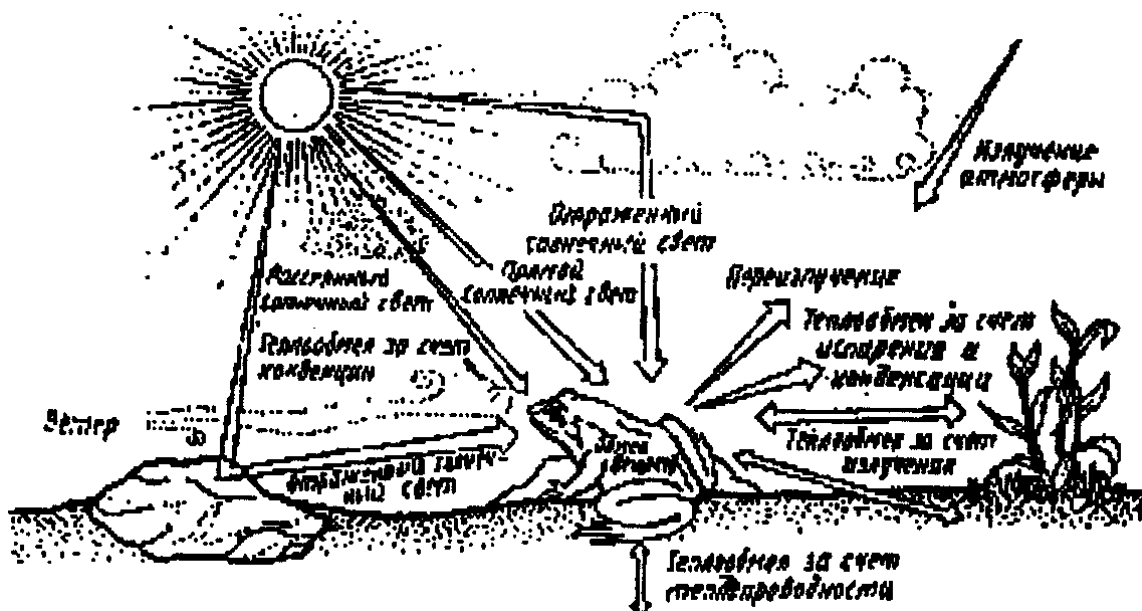


Рис. 4.14. Схематическое изображение путей теплообмена между пойкилотермным организмом и окружающей средой (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Среди пойкилотермных животных некоторые также способны к терморегуляции при определенных условиях. Шмели, бражники, крупные вараны, отдельные виды рыб, например тунцы, могут повышать температуру тела в периоды высокой мышечной активности.

У животных есть разнообразные *поведенческие* адаптации к температуре. Они проявляются в перемещениях животных в места с более благоприятными температурами (перелеты, миграции), в изменениях сроков активности, сдвигая ее на более светлое время суток и т. д. В пустыне, где днем поверхность почвы может нагреваться до 60—70 °С, на раскаленном песке животных почти не увидишь. Насекомые, рептилии и млекопитающие проводят жаркое время, зарывшись в песок или спрятавшись в норы. В глубине почвы температура не так резко колеблется и сравнительно невысокая. Холодным утром кузнечики подставляют бока солнечному свету, а дневные бабочки расправляют крылья. В полуденную жару они, сложив крылья, располагаются параллельно лучам.

При понижении температуры воздуха многие животные переходят на питание более калорийной пищей. Белки в теплое время года поедают более ста видов кормов, зимой же питаются главным образом семенами хвойных, богатых жирами. Кормом оленям летом в основном служат травы, зимой —

лишайники, содержащие в большом количестве белковые, жировые и сахаристые вещества.

Важное место в преодолении отрицательного воздействия низких температур, особенно в зимний период, занимает выбор животными места для жилища, утепление убежищ, гнезд пухом, сухими листьями, углубление нор, закрывание входов в них, принятие особой позы (например, скручивание кольцом, укутывание хвостом), собирание в группы, так называемое «скупивание» и т.д. Некоторые животные согреваются путем пробежек и прыжков.

При всем многообразии приспособлений живых организмов к воздействию неблагоприятных температурных условий среды выделяют три основных пути: *активный, пассивный и избегание неблагоприятных температурных воздействий.*

Активный путь — усиление сопротивляемости, развитие регуляторных способностей, дающих возможность осуществления жизненных функций организма, несмотря на отклонения температур от оптимума. Этот путь ярко выражен у эндотермных животных, развит у эктотермных, в зачаточной форме проявляется у некоторых высших растений. Пассивный путь — это подчинение жизненных функций организма ходу внешних температур. Недостаток тепла вызывает угнетение жизнедеятельности, что способствует экономному использованию энергетических запасов. И как итог — повышение устойчивости клеток и тканей организма. Данный путь приспособления к воздействию неблагоприятных температур характерен для всех растений и эктотермных животных. Элементы пассивного приспособления, или адаптации, присущи и эндотермным животным, обитающим в условиях крайне низких температур. Выражается это в снижении уровня обмена, замедлении скорости роста и развития, позволяющее экономнее расходовать ресурсы в сравнении с быстро развивающимися видами. У млекопитающих и птиц преимущества пассивного приспособления в неблагоприятные периоды года используют *гетеротермные* виды, которые обладают способностью впадать в спячку или оцепенение.

Избегание неблагоприятных температурных воздействий — общий способ для всех организмов. Выработка жизненных циклов, когда наиболее уязвимые стадии развития проходят в самые по температурным условиям благоприятные периоды года. Для растений это главным образом изменения в ростовых процессах, для животных — разнообразные формы поведения.

В связи с тем что растения и животные исторически приспособлены к определенным тепловым режимам, совершенно закономерно, что температурный фактор имеет непосредственное отношение к их распределению на Земле и обуславливает в той или иной мере заселенность природных зон живыми организмами. Одной из главных закономерностей в распределении современных организмов является их *биополярность*. Она заключается в том, что у организмов в высоких широтах умеренных зон наблюдается определенное сходство в систематическом составе и ряде биологических явлений. Это характерно как для наземной, так и для морской фауны и флоры.

Биополярность отмечается и в поширотном качественном составе живых организмов. Например, для тропической зоны характерно более высокое видовое разнообразие по сравнению с высокими широтами.

4.3. Влажность

Вода. В жизни организмов вода выступает как важнейший экологический фактор. Без воды нет жизни. Живых организмов, не содержащих воду, на Земле не найдено. Она является основной частью протоплазмы клеток, тканей, растительных и животных соков. Все биохимические процессы ассимиляции и диссимиляции, газообмен в организме осуществляются при наличии воды. Вода с растворенными в ней веществами обуславливает осмотическое давление клеточных и тканевых жидкостей, включая и межклеточный обмен. В период активной жизнедеятельности растений и животных содержание воды в их организмах, как правило, довольно высокое (табл. 4.8).

Таблица 4.8

**Содержание воды в растительных и животных организмах,
% к массе тела (по Б. С. Кубанцеву, 1973)**

Растения	Содержание воды	Животные	Содержание воды
Водоросли	96-98	Губки	84
Корни моркови	87-91	Моллюски	80-92
Листья трав	83-86	Насекомые	46-92
Листья деревьев	79-82	Ланцетник	87
Клубни картофеля	74-80	Земноводные	До 93
Стволы деревьев	40-55	Млекопитающие	68-83

В недейтельном состоянии организма количество воды может значительно снижаться, однако и в период покоя она не исчезает полностью. Например, в сухих мхах и лишайниках содержится воды 5—7% к общей массе, а в воздушно-сухих зерновках злаков — не менее 12—14%. Наземные организмы из-за постоянной потери воды нуждаются в регулярном ее пополнении. Поэтому у них в процессе эволюции выработались приспособления, которые регулируют водный обмен и обеспечивают экономное расходование влаги. Приспособления носят анатомо-морфологический, физиологический и поведенческий характер. Потребность разных видов растений в воде по периодам развития не одинакова. Меняется она и в зависимости от климата и почвы. Так, злаковые культуры в периоды прорастания семян и созревания нуждаются меньше во влаге, чем во время наиболее интенсивного роста. Кроме влажных тропиков, практически повсеместно растения испытывают временный недостаток воды, засуху. При высоких температурах в летний период часто проявляется атмосферная засуха, почвенная — при уменьшении доступной растению почвенной влаги. Недостаток или дефицит влаги снижает прирост растений, может стать причиной их низкорослости, бесплодия из-за недоразвития генеративных

органов. Первостепенное значение во всех проявлениях жизнедеятельности имеет водный обмен между организмом и внешней средой. Влажность среды нередко является фактором, лимитирующим распространение и численность организмов на Земле. Например, степные и особенно лесные растения требуют повышенного содержания паров в воздухе, растения же пустынь приспособились к низкой влажности.

Важную роль у животных играют проницаемость покровов и механизмы, регулирующие водный обмен. Здесь уместно дать характеристику *основным показателям влажности*. Влажность — это параметр, характеризующий содержание водяного пара (газообразной воды) в воздухе. Различают абсолютную и относительную влажность. *Абсолютная влажность* — количество газообразной воды, содержащейся в воздухе, и выраженное через массу воды на единицу массы воздуха (например, в граммах на 1 кг или на 1 м³ воздуха). *Относительная влажность* — это отношение количества имеющегося в воздухе пара к насыщенному количеству пара при данных условиях температуры и давления. Это соотношение устанавливается по формуле:

$$r = \frac{P}{PS} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где r — относительная влажность;

P и PS — абсолютная и насыщающая (максимальная) влажность при данной температуре.

Относительную влажность обычно измеряют, сравнивая температуру на двух термометрах — с влажным и сухим шариком. Этот прибор называется психрометром. Так, если оба термометра показывают одинаковую температуру, то относительная влажность равна 100%. Если же «влажный» термометр показывает меньшую температуру, чем «сухой» (обычно так и бывает), то и относительная влажность будет меньше 100%. Точную величину получают из специальных справочных таблиц. Для измерения относительной влажности удобен и гигрограф. В приборе используется свойство человеческого волоса сокращаться или удлиняться в зависимости от относительной влажности, что позволяет вести непрерывную запись показаний.

В экологических исследованиях относительная влажность измеряется довольно часто. Большое значение для организмов имеет и *дефицит насыщения* воздуха водяными парами или разность между максимальной и абсолютной влажностью при определенной температуре. Дефицит насыщения воздуха можно обозначить буквой d и определить по формуле:

$$d = PS - P. \quad (4.5)$$

Этот показатель наиболее четко характеризует испаряющую силу воздуха и играет для экологических исследований особую роль. В связи с тем, что испаряющая сила воздуха с повышением температуры увеличивается, при разных температурах дефицит насыщения неодинаков при одной и той же влажности. При его возрастании воздух становится суше и в нем интенсивнее происходят испарение и транспирация. При уменьшении дефицита насыщения

относительная влажность воздуха увеличивается. Температура среды самым существенным образом влияет на характер действия влажности.

Важными в жизни организмов являются и особенности *распределения влаги по сезонам* в течение года. Выпадают ли осадки в зимнее или летнее время? Каково суточное ее колебание? Так, в северных районах нашей планеты обильные осадки, выпадающие в холодное время года, большей частью недоступны растениям, и в то же время даже малые осадки летом оказываются жизненно необходимыми. Важно учитывать и характер выпадающих осадков — моросящий дождь, ливень, снег, их продолжительность. Например, моросящий дождь летом хорошо увлажняет почву, более эффективен для растений, чем ливень, несущий колоссальные потоки воды. Во время ливня почва не успевает впитывать воду, она быстро стекает, унося с собой плодородную часть, плохо укоренившиеся растения, зачастую ведет к гибели мелких животных, особенно насекомых. Однако и затянувшиеся моросящие дожди могут оказывать неблагоприятное воздействие на жизнедеятельность животных, например насекомоядных птиц в период выкармливания птенцов.

Зимние осадки, выпадающие в виде снега в холодном и умеренном климате, создают снежный покров, который благоприятно влияет на температурный режим почвы и тем самым повышает выживаемость растений и животных. И наоборот, зимние осадки в виде дождя оказывают неблагоприятное воздействие на растения, их выживаемость, увеличивают смертность насекомых.

Степень насыщения воздуха и почвы водяными парами имеет большое значение. Нередко наблюдаются случаи гибели животных и растений во время засухи, которая вызвана чрезмерной сухостью воздуха или суховеями. В первую очередь это сказывается на жизни организмов, обитающих во влажных местах, как правило, из-за отсутствия у них механизмов, регулирующих потерю воды при транспирации и испарении, тогда как наружные покровы тела весьма непроницаемы.

Влажность воздуха обуславливает периодичность активной жизни организмов, сезонную динамику жизненных циклов, влияет на продолжительность развития, плодовитость и их смертность. Например, такие виды растений, как вероника весенняя, незабудка песчаная, бурачок пустынный и др., используя весеннюю влагу, успевают в очень короткие сроки (12—30 дней) прорасти, развить генеративные побеги, расцвести, сформировать плоды и семена. Данные однолетние растения называют *эфемерами* (от греч. *ephemeros* — мимолетный, однодневный). Эфемеры, в свою очередь, подразделяются на весенние и осенние. Вышеназванные растения относятся к весенним эфемерам. Четкую приспособленность к сезонному ритму влажности проявляют и отдельные виды многолетних растений, называемые *эфемероидами* или *геоэфемероидами*. При неблагоприятных условиях влажности они могут задерживать свое развитие до тех пор, пока она не станет оптимальной, или, как эфемеры, пройти весь его цикл в чрезвычайно сжатые ранневесенние сроки. Сюда можно отнести типичные растения южных степей — гиацинт степной, птицемлечники, тюльпаны и др.

Эфемерами могут быть и животные. Это такие, как насекомые, ракообразные (щитни, появляющиеся в большом количестве весной в лесных лужах), и даже рыбы, обитающие в небольших водоемах, лужах, например африканские нотобранхи и афиосемионы из отряда карпозубообразных.

По отношению к влажности различают *эвригигробионтные* и *стеногигробионтные* организмы. Эвригигробионтные организмы приспособились жить при различных колебаниях влажности. Для стеногигробионтных организмов влажность должна быть строго определенной: высокой, средней или низкой. Развитие животных не менее тесно связано с влажностью среды. Однако животные в отличие от растений имеют возможность активно отыскивать условия с оптимальной влажностью, обладают более совершенными механизмами регуляции водного обмена.

Влажность среды влияет на содержание воды в тканях животного и отсюда имеет непосредственное отношение к его поведению и выживаемости. Вместе с тем она может оказывать и косвенное воздействие через пищу и другие факторы. Например, во время засух при сильном выгорании растительности сокращается численность животных-фитофагов. Развитие животных по фазам требует строго определенных условий по влажности. При недостатке влаги в воздухе или пище у животных резко сокращается плодовитость, и в первую очередь у влаголюбивых форм. Недостаточное количество воды в корме снижает интенсивность роста у большинства животных, замедляет их развитие, сокращает продолжительность жизни, увеличивает смертность (рис. 4.15).

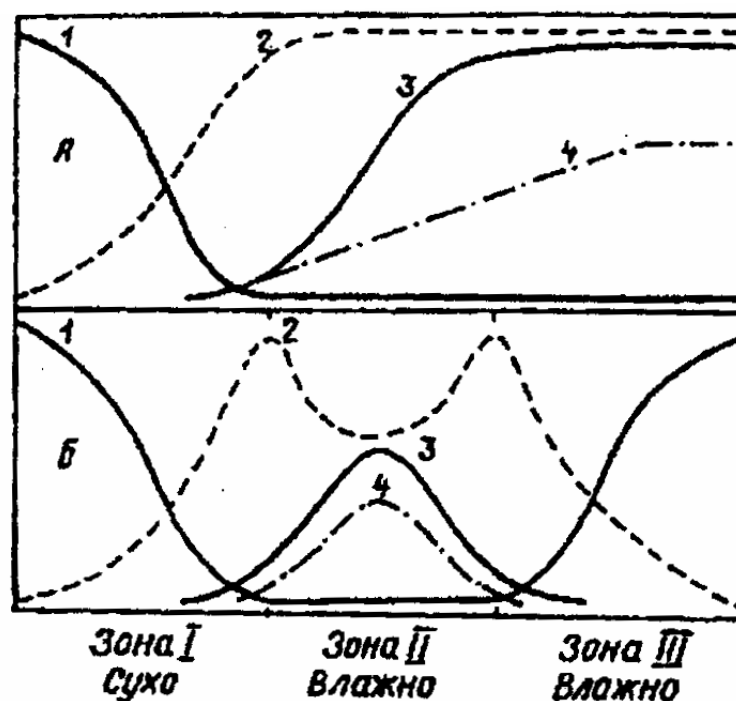


Рис. 4.15. Влияние влажности на основные жизненные процессы у животных (по Н. П. Наумову, 1963):

А — гигрофилы; Б — ксерофилы;

1 — смертность; 2 — долговечность; 3 — плодовитость; 4 — скорость развития

Следовательно, *водный режим, т. е. последовательные изменения в поступлении, состоянии и содержании воды во внешней среде* (дождь, снег, туман, насыщение парами воздуха, уровень грунтовых вод, влажность почвы), оказывает существенное влияние на жизнедеятельность живых организмов.

По отношению к водному режиму наземные организмы подразделяются на три основные экологические группы: *гигрофильные* (влаголюбивые), *ксерофильные* (сухлюбивые) и *мезофильные* (предпочитающие умеренную влажность). Примером гигрофилов среди растений могут служить ка-лужница болотная, кислица обыкновенная, лютик ползучий, чистяк лютичный и др.; среди животных — мокрецы, ногохвостки, комары, стрекозы, жужелицы, уж и т. д. Все они не выносят значительного водного дефицита и плохо переносят даже кратковременную засуху.

Настоящими ксерофилами являются жуки-чернотелки, верблюды, вараны. Здесь широко представлены многообразные механизмы регуляции водного обмена и приспособления к удержанию воды в теле и клетках, что слабо выражено у гигрофилов.

Вместе с тем разделение организмов на три группы в какой-то мере относительно, так как у многих видов степень потребности во влаге непостоянна в различных условиях и неодинакова на разных стадиях развития организмов. Так, проростки и молодые растения многих древесных пород развиваются по типу мезофильных, а взрослые растения имеют явные черты ксерофилов.

По способу регулирования водного режима наземные растения подразделяются на две группы: *пойкилогидридные* и *гомео-гидридные*. Пойкилогидридные растения — это виды, не способные активно регулировать свой водный режим. У них нет каких-либо особенностей анатомического строения, которые способствовали бы защите от испарения. У большинства отсутствуют устьица. Транспирация равна простому испарению. Содержание воды в клетках находится в равновесии с давлением паров в воздухе или определяется его влажностью, зависит от его колебаний. К пойкилогидридным растениям относятся грибы, наземные водоросли, лишайники, некоторые мхи, из высших растений — тонколистные папоротники тропических лесов. Немногочисленную группу составляют цветковые растения, имеющие устьица, — представители семейства геснериевых, обитающие в расщелинах скал на Балканах и в Южной Африке. Сюда же относят среднеазиатскую пустынную осоку — *Сагех physodes*. Листья пойкилогидридных растений способны высыхать практически до воздушно-сухого состояния, а после смачивания вновь «оживают» и зеленеют.

Гомеогидридные растения способны в определенных пределах регулировать потерю воды путем закрывания устьиц и складывания листьев. В клеточных оболочках откладываются водонепроницаемые вещества (суберин, кутин), поверхность листьев покрыта кутикулой и т. д. Это дает возможность гомеогидридным растениям поддерживать на сравнительно постоянном уровне

содержание воды в клетках и давление водяных паров в межклетниках. Транспирация по величине, дневной и сезонной динамике значительно отличается от свободного испарения смоченного физического тела (рис. 4.16).

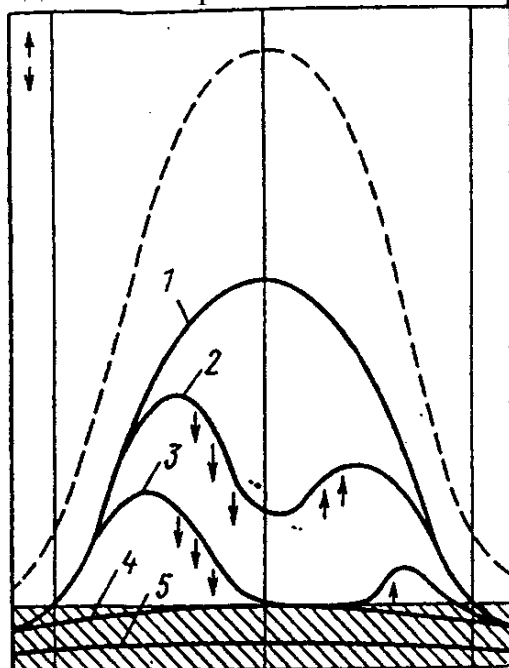


Рис. 4.16. Схема суточного хода транспирации при разной водообеспеченности растений (из Т. К. Горышиной, 1979):

1 — Транспирация без ограничения; 2 — Транспирация с полуденным снижением благодаря сужению устьиц; 3 — то же, при полном закрытии устьиц; 4 — полное исключение устьичной транспирации благодаря длительному закрыванию устьиц (остается лишь кутикулярная транспирация); 5 — снижение кутикулярной транспирации благодаря изменению проницаемости мембран. Стрелки, направленные вниз, — закрывание устьиц; стрелки, направленные вверх, — открывание устьиц. Пунктир — дневной ход испарения со свободной водной поверхности. Штриховка — область кутикулярной транспирации

Эта группа составляет большинство высших сосудистых растений, формирует растительный покров Земли. Иначе вместо зеленых лесов и лугов даже в умеренных широтах свежая зелень встречалась бы только после дождей.

Условия водного обмена у организмов определяются влажностью местообитания. В зависимости от этого у них появляются черты приспособления к жизни в условиях достаточного или малого водоснабжения. Наиболее четко это выражено у растений. Не обладая возможностью свободного передвижения, они лучше других проявляют приспособленность к жизни в местообитаниях с большим или малым количеством влаги.

В зависимости от местообитания среди наземных растений различают следующие экологические группы: *гигрофиты*, *мезофиты* и *ксерофиты*. *Гигрофиты* (от греч. «гигрос» — влажный и «фитон» — растение) — растения, обитающие во влажных местах, не переносящие водного дефицита и обладающие невысокой засухоустойчивостью. Растения этой группы имеют, как правило, крупные, тонкие, нежные листовые пластинки с небольшим числом устьиц, нередко расположенных с обеих сторон. Устьица большей частью широко открыты, в связи с этим транспирация мало отличается от

физического испарения. Корни обычно толстые, слабо разветвленные. Корневые волоски представлены слабо или отсутствуют. Все органы покрыты тонким однослойным эпидермисом, кутикулы практически нет. Широко развита *аэренхима* (возду-хоносная ткань), обеспечивающая аэрацию тела растения. К гигрофитам в первую очередь относят тропические растения, которые живут при высокой температуре и влажности воздуха. Нередко гигрофиты обитают в тени под пологом леса (например, папоротники) или на открытых пространствах, но обязательно на почвах переувлажненных или покрытых водой. В умеренном и холодном климате типичными гигрофитами являются *тенивые* травянистые растения лесов. На открытых местах и влажных почвах растут *световые* гигрофиты. Это такие, как калужница (*Calta palustris*), плакун-трава (*Lythrum salicaria*), росянка (*Drosera*), многие злаки и осоки сырых местообитаний, из культурных растений к световым гигрофитам относят рис, культивируемый на полях, залитых водой.

В целом же при довольно большом разнообразии местообитаний, особенностей водного режима и анатомоморфологических черт всех гигрофитов объединяет отсутствие приспособлений, ограничивающих расход воды и неспособность выносить даже незначительную ее потерю.

Например, у световых гигрофитов листья в дневное время могут терять за час количество воды, которое в 4—5 раз превышает массу листа. Хорошо известно, как быстро вянут в руках цветы, собранные по берегам водоемов. Показательны для гигрофитов и небольшие величины сублетального водного дефицита. Для кислицы и майника потеря 15—20% запаса воды уже необратима и ведет к гибели.

Мезофиты — это растения умеренно увлажненных местообитаний. Они имеют хорошо развитую корневую систему. На корнях имеются многочисленные корневые волоски. Листья разные по размеру, но, как правило, большие, мягкие, нетолстые, плоские, с умеренно развитыми покровной, проводящей, механической, столбчатой и губчатой тканями. Устьица располагаются на нижней стороне листовых пластинок. Хорошо выражена регуляция устьичной транспирации. К мезофитам относятся многие луговые травы (клевер луговой, тимopheевка, ежа сборная), большинство лесных растений (ландыш, зеленчук и др.), значительная часть лиственных деревьев (береза, осина, клен, липа), многие полевые (рожь, картофель, капуста) и плодово-ягодные (яблоня, смородина, вишня, малина) культуры и сорняки.

Один и тот же мезофильный вид, попадая в разные по водоснабжению условия, обнаруживает известную пластичность, приобретая во влажных условиях более гигроморфные, а в сухих — более ксероморфные черты.

Мезофиты связаны переходами с другими экологическими типами растений по отношению к воде, поэтому четкую границу между ними провести зачастую очень трудно. Например, среди луговых мезофитов выделяются виды с повышенным влаголюбием, предпочитающие постоянно сырые или временно заливаемые участки (лисохвост луговой, бекмания обыкновенная, канареечник тростниковый и др.). Их объединяют в переходную группу гигромезофитов наряду с некоторыми влаголюбивыми лесными травами, предпочитающими

лесные овраги, переувлажненные или наиболее сырые леса, такие, как селезеночник, недотрога, папоротник, некоторые лесные мхи и др.

В местообитаниях с периодическим или постоянным (но невысоким) недостатком влаги встречаются мезофиты с повышенной физиологической устойчивостью к засухе, с теми или иными ксероморфными признаками. Эта группа переходная между мезофитами и ксерофитами носит название *ксеромезофиты*. Сюда относят многие виды растений северных степей, сухих сосновых боров, песчаных местообитаний — клевер-белоголовку, подмаренник желтый и др., из культурных растений — люцерну, засухоустойчивые сорта пшеницы и некоторые другие. *Ксерофиты* (от греч. «ксерос» — сухой и «фитон» — растение) — это растения сухих местообитаний, способные переносить значительный недостаток влаги — почвенную и атмосферную засуху. Наиболее обильны и разнообразны ксерофиты в областях с жарким и сухим климатом. К ним принадлежат виды растений пустынь, сухих степей, саванн, колючих редколесий, сухих субтропиков и т. д.

Неблагоприятный водный режим растений в сухих местообитаниях обусловлен ограниченным поступлением воды при ее недостатке в почве и увеличением расхода влаги на транспирацию при большой сухости воздуха и высокой температуре. Таким образом, для преодоления недостатка влаги могут быть разные пути: увеличение ее поглощения и сокращение расхода, а также способность переносить большие потери воды. При этом различают два основных способа преодоления засухи: возможность противостоять иссушению тканей, или активное регулирование водного баланса, и способность выносить сильное иссушение.

Важное значение для ксерофитов имеют разнообразные структурные приспособления к условиям недостатка влаги. Например, сильное развитие корневой системы помогает растениям увеличить поглощение почвенной влаги. Нередко у травянистых и кустарниковых видов среднеазиатских пустынь подземная масса больше надземной в 9—10 раз. Корневые системы ксерофитов часто экстенсивного типа, т. е. растения имеют длинные корни, распространяющиеся в большом объеме почвы, но мало разветвленные. Проникая на большую глубину, такие корни позволяют, например, пустынным кустарникам использовать влагу глубоких почвенных горизонтов, а в отдельных случаях и грунтовых вод. У других видов, таких, как степные злаки, корневые системы интенсивного типа. Они охватывают небольшой объем почвы, но благодаря густому ветвлению максимально используют влагу (рис. 4.17).

Наземные органы ксерофитов отличаются своеобразными чертами, носящими отпечаток трудных условий водоснабжения. У них сильно развита водопроводящая система, хорошо заметная по густоте сети жилок в листьях, подводящих воду к тканям (рис. 4.18).

Эта особенность облегчает ксерофитам осуществлять пополнение запасов влаги, расходуемой на транспирацию. Структурные приспособления защитного характера у ксерофитов, направленные на уменьшение расхода воды, можно свести к следующему:

1. Общее сокращение транспирирующей поверхности за счет мелких узких, сильно редуцированных листовых пластинок.

2. Уменьшение листовой поверхности в наиболее жаркие и сухие периоды вегетационного сезона.

3. Защита листьев от больших потерь влаги на транспирацию благодаря развитию мощных покровных тканей — толстостенного или многослойного эпидермиса, нередко несущего различные выросты и волоски, которые образуют густое «войлочное» опушение поверхности листа.

4. Усиленное развитие механической ткани, предупреждающее обвисание листовых пластинок при больших потерях воды.

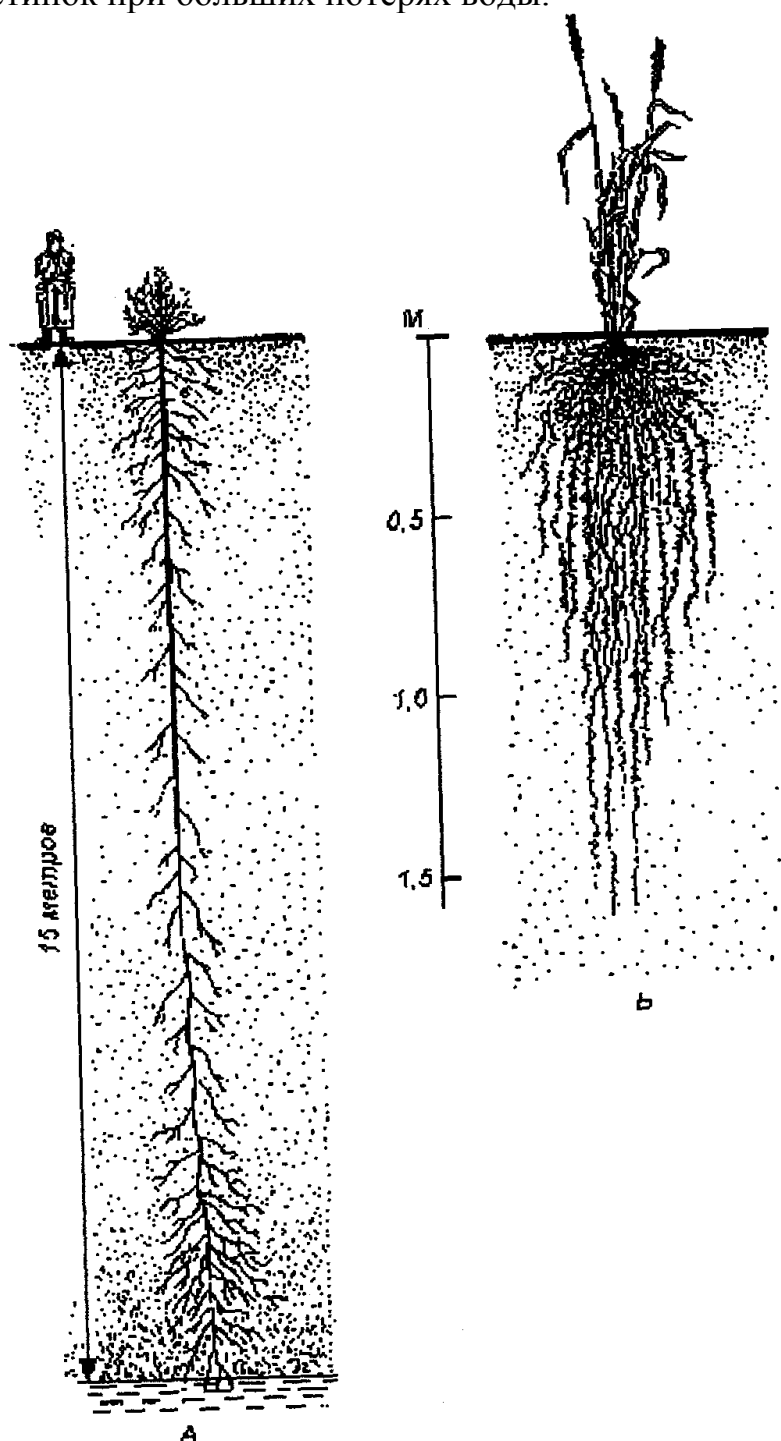


Рис. 4.17. Различные типы корневых систем:
А — экстенсивный (верблюжья колючка);

Ксерофиты с наиболее ярко выраженными ксероморфными чертами строения листьев, перечисленными выше, имеют своеобразный внешний облик (чертополох, степные и пустынные полыни, ковыли, саксаул и др.), за что получили название *склерофитов*. Склерофиты (от греч. «склерос» — твердый, жесткий) не накапливают в себе влагу, а испаряют ее в большом количестве, постоянно доставая из глубоких слоев почвы. Тело этих растений жестковатое, сухое, иногда одревесневшее, с большим количеством механической ткани. При продолжительном прекращении подачи воды может наблюдаться сбрасывание листьев или части побегов, что приводит к сокращению испарения. Многие из ксерофитов переносят засушливое время года в состоянии вынужденного покоя.

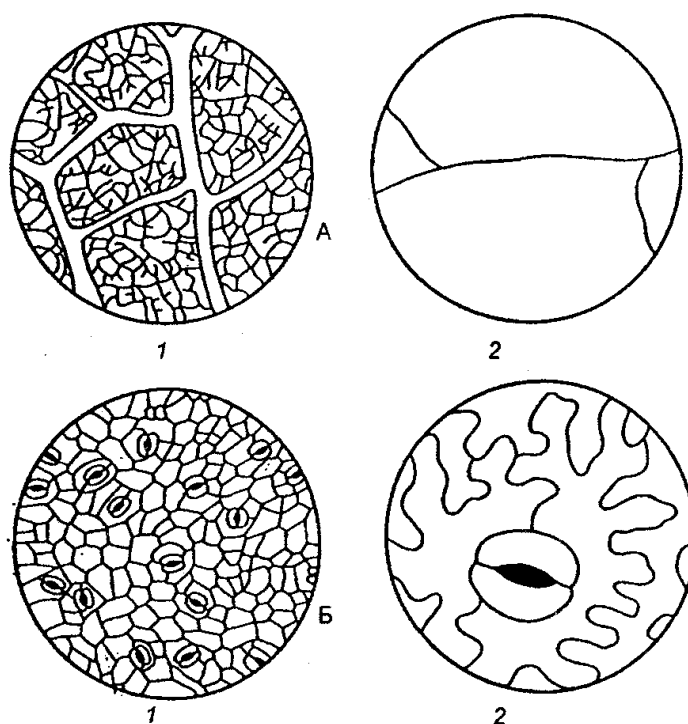


Рис. 4.18. Различие жилкования (А), размеров и числа устьиц (Б) у ксерофитов и мезофитов (из А. П. Шенникова, 1950):

- 1 — пустынный ксерофит — *Psoralea drupaceae*;
- 2 — лесной мезофит — *Paris quadrifolia*

Другая группа ксерофитов обладает способностью накапливать в своих тканях большое количество воды и получила название «суккуленты» (от лат. «суккулентус» — сочный, жирный). Водозапасающие ткани у них могут быть развиты в стеблях или листьях, поэтому они подразделяются на стеблевые суккуленты (кактусы, молочаи) и *листовые суккуленты* (алоэ, агава, молодило). Тело суккулентов, как правило, покрыто толстым кутикулированным эпидермисом и восковым налетом. Устьиц на поверхности тела почти нет. А если есть, то они мелкие, располагаются в ямках и большую часть времени закрыты. Открываются только на ночь. Все это предельно

сокращает транспирацию. Характерной особенностью суккулентов является высокая поглощающая способность. В период дождей отдельные виды поглощают в себя большое количество воды. Накопленную влагу суккуленты в дальнейшем медленно расходуют. Суккуленты произрастают в районах с жарким сухим климатом. Там, где хотя бы изредка проходят дожди кратковременные, но обильные, ливневые.

В целом же различные формы адаптации к водному режиму у растений и животных, выработанные в процессе эволюции, отражены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

**Адаптации к засушливым условиям у растений и животных
(по Н. Грину и др., 1993)**

Адаптация	Примеры
Уменьшение потери воды	
Листья превращены в иглы или колючки	Cactaceae, Euphorbiaceae (молочай), хвойные
Погруженные устьица	деревья Pinus, Ammophila
Листья свернуты в цилиндр	Аммифила
Толстая восковая кутикула	Листья большинства ксерофитов, насекомые
Толстый стебель с большим отношением объема к поверхности	Cactaceae, Euphorbiaceae («суккуленты») Многие альпийские растения Fougieria splendens
Опушенные листья	Crassulaceae (толстенковые)
Сбрасывание листьев при засухе	
Устьица открыты ночью и закрыты днем	
Эффективная фиксация CO ₂ ночью при не полностью открытых устьицах	С-4 — растения, например Zea mays
Выделение азота в виде мочевого кислоты	Насекомые, птицы и некоторые рептилии
Удлиненная петля Генле в почках	Пустынные млекопитающие, например верблюд, пустынная крыса
Ткани выносливы к высоким температурам из-за уменьшения потоотделения или транспирации	Многие пустынные растения, верблюд
Животные прячутся в норах	Многие мелкие пустынные млекопитающие, например пустынная крыса
Дыхательные отверстия прикрыты клапанами	Многие насекомые
Увеличение поглощения воды	
Обширная поверхностная корневая система и глубоко проникающие корни	Некоторые Cactaceae, например Opuntia и Euphorbiaceae
Длинные корни	Многие альпийские растения, например эдельвейс (Leontopodium alpinum)
Прорывание ходов к воде	Термиты
Запасание воды	
В слизистых клетках и в клеточных стенках	Cactaceae и Euphorbiaceae
В специализированном мочевом пузыре	Пустынная лягушка
В виде жира (вода — продукт окисления)	Пустынная крыса
Физиологическая устойчивость к потере воды	
При видимом обезвоживании сохраняется жизнеспособность	Некоторые эпифитные папоротники и плауны, многие мохообразные и лишайники, осока Carex physoides
Потеря значительной части массы тела и быстрое ее восстановление при наличии доступной воды	Lumbricus terrestris (теряет до 70% массы), верблюд (теряет до 30%)

Окончание табл. 4.9

Адаптация	Примеры
<p style="text-align: center;">«Уклонение от проблемы»</p> <p>Переживают неблагоприятный период в виде семян Эшшольция калифорнийская</p> <p>Переживают неблагоприятный период в виде луковиц и клубней Некоторые лилии</p> <p>Распространения семян в расчете на то, что некоторые из них попадут в благоприятные условия Различные растения</p> <p>Поведенческие реакции избегания Почвенные организмы, например клещи, дождевые черви</p> <p>Летняя спячка в слизистом коконе Дождевые черви, двоякодышащие рыбы.</p>	

4.4. Совместное действие температуры и влажности

Рассмотрение отдельных факторов среды — это не конечная цель экологического исследования, а способ подойти к сложным экологическим проблемам, *дать сравнительную оценку важности различных факторов, действующих совместно в реальных экосистемах.*

Температура и влажность являются ведущими климатическими факторами и тесно взаимосвязаны между собой (рис. 4.19).

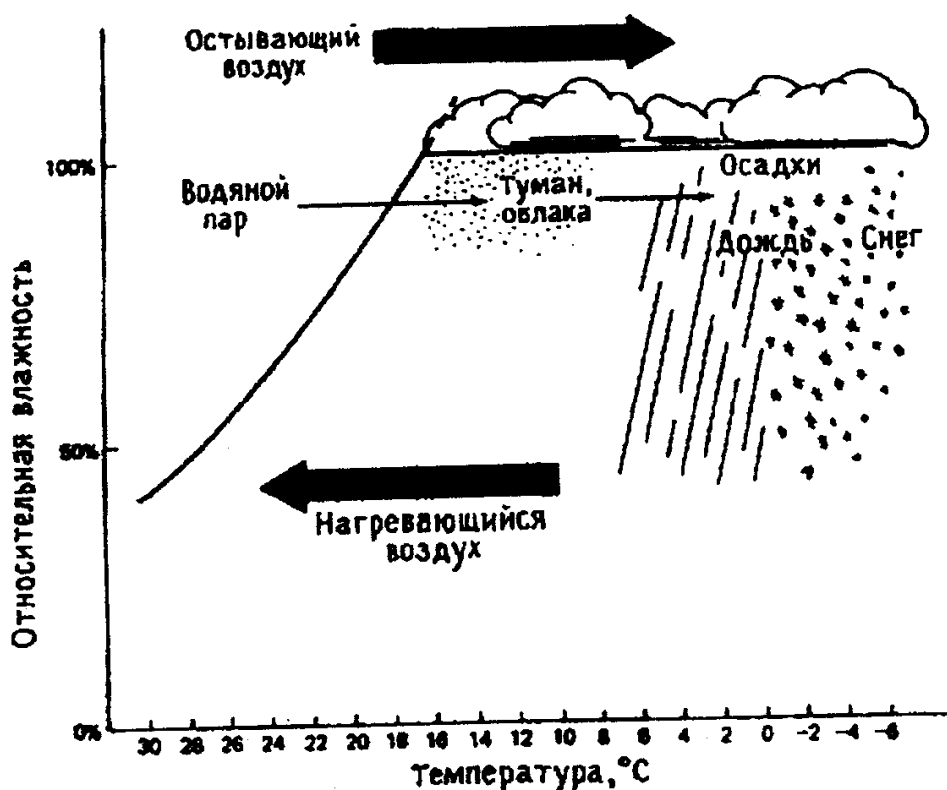


Рис. 4.19. Влияние температуры на относительную влажность воздуха (по Б. Небелу, 1993)

При неизменном количестве воды в воздухе относительная влажность увеличивается, когда температура падает. Если воздух охлаждается до температуры ниже точки водонасыщения (100%), происходит конденсация и выпадают осадки. При нагревании его относительная влажность падает. Сочетание температуры и влажности часто играет решающую роль в распределении растительности и животных. Взаимодействие температуры и влажности зависит не только от относительной, но и от абсолютной их величины. Например, температура оказывает более выраженное влияние на организмы в условиях влажности, близкой к критической, т. е. если влажность очень велика или очень мала. Влажность также играет более критическую роль при температуре, близкой к предельным значениям. Отсюда одни и те же виды организмов в различных географических зонах предпочитают разные местообитания. Так, по *правилу предварения*, установленному В. В. Алехиным (1951) для растительности, широко распространенные виды на юге произрастают на северных склонах, а на севере встречаются только на южных (рис. 4.20).

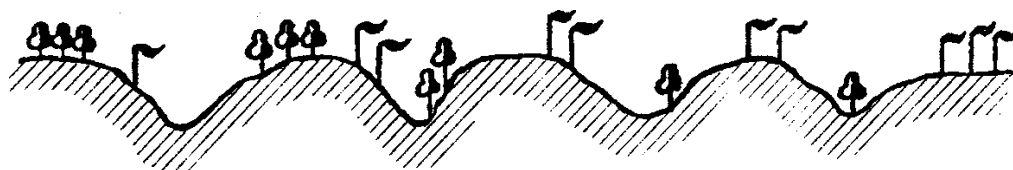


Рис. 4.20. Схема правила предварения (по В. В. Алехину, 1951):

1 — северный вид, обитающий на плакоре, на юге переходящий на склоны северной экспозиции и в балки; 2 — южный вид, на севере встречающийся на наиболее прогреваемых склонах южной

Для животных выявлены принципы *смены местообитания* (Г. Я. Бей-Биенко, 1961) и принцип *смены ярусов* (М. С. Гиляров, 1970), где мезофильные виды в центре ареала, на севере его выбирают более сухие, а на юге — более влажные места или переходят от наземного образа жизни к подземному, как многие насекомые-фитофаги. Чем слабее проявляется влияние климата в конкретных местообитаниях, которые выбирает вид, тем больше их способность обитать в разных климатических условиях. Вид выбирает сочетание факторов, наиболее соответствующих его экологической валентности, путем смены местообитания, и таким образом преодолевает климатические рубежи.

Взаимосвязь температуры и влажности хорошо отражают климадиаграммы, составленные по *способу Вальтера-Госсена*, на которых в определенных масштабах сопоставлен годовой ход температуры воздуха с ходом выпадения осадков (рис. 4.21).

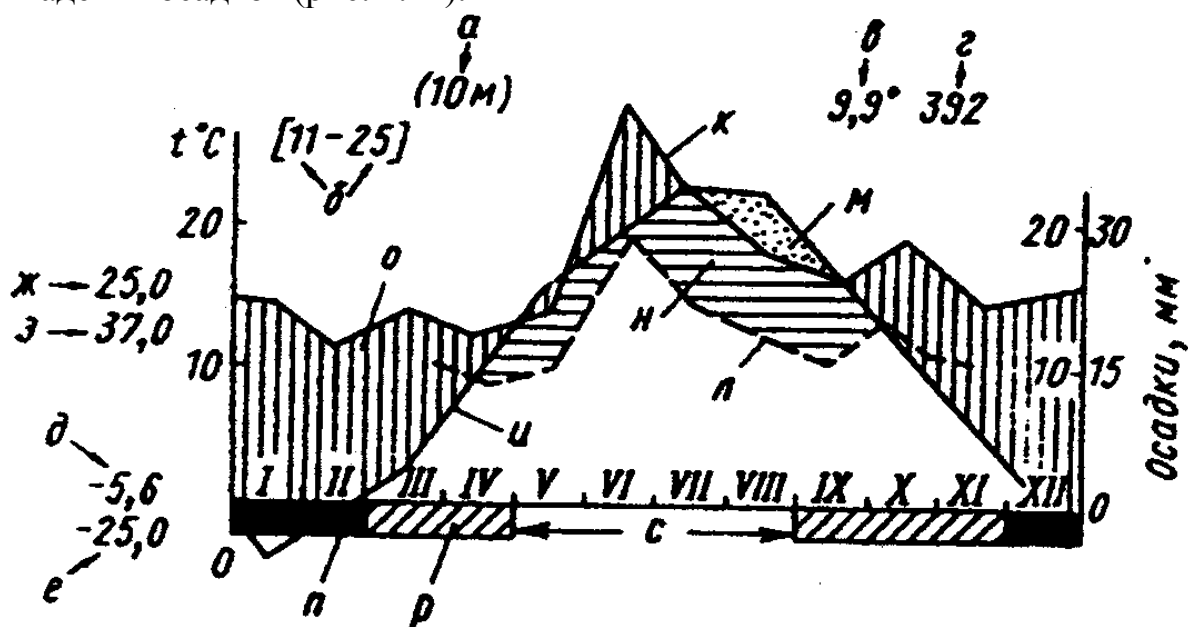


Рис. 4.21. Климадиаграмма по Вальтеру-Госсену для Одессы
(по Г. Вальтеру, 1968):

а — высота над уровнем моря; б — число лет наблюдений за температурой (первая цифра) и осадками (вторая цифра); в — средняя годовая температура; г — средняя годовая сумма осадков в мм; д — средний суточный минимум самого холодного месяца; е — абсолютный минимум; ж — средний суточный максимум самого теплого месяца; з — абсолютный максимум; и — кривая средних месячных температур; к — кривая средних месячных сумм осадков (соотношение $10^{\circ}=20$ мм); л — то же (соотношение $10^{\circ}=30$ мм); м — засушливый период; н — полусухой период; о — влажное время года; п — месяцы со средним суточным минимумом температуры ниже 0°C ; р — месяцы с абсолютным минимумом температуры ниже 0°C ; с — безморозный период. По оси абсцисс — месяцы

Климадиаграммы можно построить для отдельных лет, а расположив последовательно и непрерывно одну за другой, получить *климатограмму*. На климатограммах легко прослеживаются экстремально сухие или экстремально

холодные годы, что является весьма полезным для определения пригодности комбинаций температуры и влажности в районах предполагаемой интродукции растений или промысловых диких животных.

4.5. Атмосфера

Как уже было отмечено ранее, наша планета Земля отличается от других планет наличием воздушной оболочки, атмосферы, атмосферного воздуха. Атмосферный воздух — смесь различных газов. В его составе 78,08% азота, 20,9% кислорода, 0,93% аргона, 0,03% углекислого газа, других газов (гелий, метан, неон, ксенон, родон и др.) около 0,01%.

Значение атмосферного воздуха для живых организмов огромно и разнообразно. Это источник кислорода для дыхания и углекислоты для фотосинтеза. Он защищает живые организмы от вредных космических излучений, способствует сохранению тепла на Земле.

Атмосфера — важная часть экосферы, с которой она связана биогеохимическими циклами, включающими газообразные компоненты. Это такие, как круговороты углерода, азота, кислорода и воды. Большое значение имеют и физические свойства атмосферы. Так, воздух оказывает лишь незначительное сопротивление движению и не может служить опорой для наземных организмов, что непосредственно сказалось на их строении. Вместе с тем некоторые группы животных стали использовать полет как способ передвижения. Особо следует отметить, что в атмосфере постоянно происходит циркуляция воздушных масс, энергию которой поставляет Солнце (рис. 4.22).

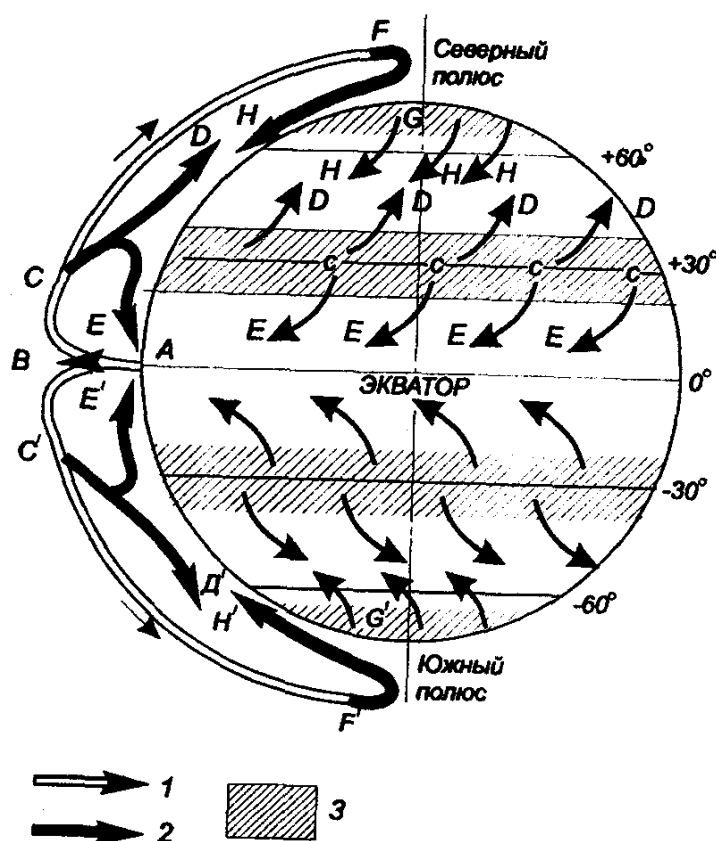


Рис. 4.22. Упрощенная схема общей циркуляции воздушных масс атмосферы:

1 – теплый воздух; 2 – охлажденный воздух; 3 – зоны высокого давления; СЕ – пассаты; СД – доминирующие юго-западные ветры; ГН – полярные северо-восточные ветры

Результатом циркуляции является перераспределение водяных паров, так как атмосфера захватывает их в одном месте (где вода испаряется), переносит и отдает в другом месте (где выпадают осадки). Если же в атмосферу поступают газы, в том числе загрязняющие, такие, как двуокись серы в промышленных районах, то система атмосферной циркуляции перераспределит их и они выпадут в других местах, растворенные в дождевой воде (рис. 4.23).

Ветер, взаимодействуя с другими факторами окружающей среды, может оказывать влияние на развитие растительности, в первую очередь на деревья, растущие на открытых местах. Обычно это приводит к задержке их роста и искривлению с наветренной стороны.

Ветер играет важную роль в распространении спор, семян и т. п., расширяя возможности распространения неподвижных организмов — растений, грибов и некоторых бактерий. Ветер может оказывать влияние и на миграцию летающих животных.

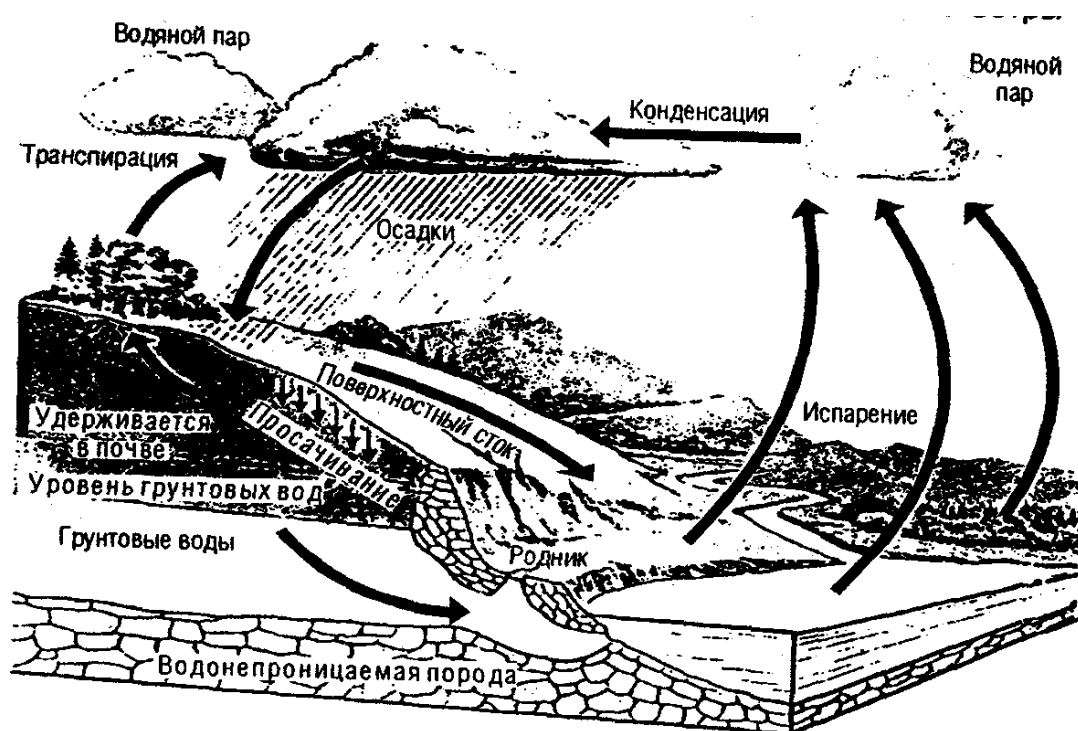


Рис. 4.23. Гидрологический цикл и накопление воды
(по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Еще одна особенность атмосферы — это ее давление, которое уменьшается с высотой. Эволюция живых организмов на нашей планете происходила при атмосферном давлении 760 мм ртутного столба на уровне

моря, и оно считается «нормальным». С увеличением высоты, например при восхождении людей в горы, от недостаточной насыщенности крови кислородом может наступить состояние *гипоксии* или *аноксии*. Возникает оно вследствие того, что с возрастанием высоты над уровнем моря парциальное давление кислорода, так же как и других газов, содержащихся в атмосферном воздухе, падает. На высоте 5450 м атмосферное давление в два раза меньше, чем на уровне моря. И хотя воздух содержит здесь столько же процентов кислорода, концентрация его на единицу объема вдвое меньше.

У растений в этих условиях возрастает транспирация, что потребовало выработки адаптации для сохранения воды, как, например, у многих альпийских растений.

4.6. Топография

Топография (рельеф) относится к орографическим факторам и тесно связана с другими абиотическими факторами, хотя и не принадлежащими к таким прямодействующим экологическим факторам, как свет, тепло, вода и почва. Главным топографическим (орографическим) фактором является высота. С высотой снижаются средние температуры, увеличивается суточный перепад температур, возрастают количество осадков, скорость ветра и интенсивность радиации, понижаются атмосферное давление и концентрация газов. Так, повышение уровня местности на каждые 100 м сопровождается уменьшением температуры воздуха примерно на $0,6^{\circ}\text{C}$.

В зависимости от величины форм топографию или рельеф подразделяют на несколько порядков: *макрорельеф* (горы, межгорные впадины, низменности), *мезорельеф* (холмы, овраги, гряды, карстовые воронки, степные «блюдца» и др.) и *микрорельеф* (мелкие западинки, неровности, приствольные повышения и др.). Все это оказывает влияние на растения и животных. В результате обычным явлением стала вертикальная зональность (рис. 4.24).

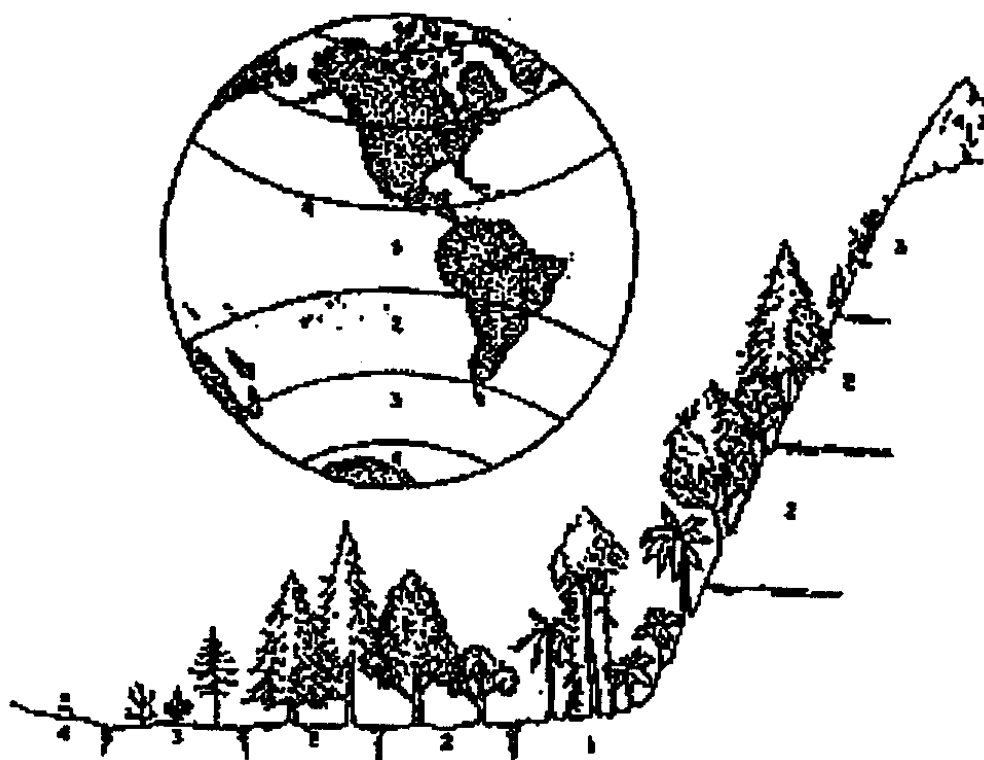


Рис. 4.24. Схема, показывающая соответствие между последовательными вертикальными и горизонтальными растительными зонами:

1 — тропическая зона (зона тропических лесов); 2 — умеренная зона (зона лиственных и хвойных лесов); 3 — альпийская зона (зона травянистой растительности, мхов и лишайников); 4 — полярная зона (зона снегов и льдов)

Горные цепи могут служить климатическими барьерами. Влажный воздух охлаждается, поднимаясь над горами, что приводит к выпадению большого количества осадков на наветренных склонах.

На подветренной стороне горного хребта образуется так называемая «дождевая тень», воздух здесь суше, выпадает меньше осадков, создаются пустынные условия, так как воздух, опускаясь, нагревается и вбирает в себя влагу из почвы.

Это влияет на живые организмы. Для большинства позвоночных верхняя граница жизни около 6,0 км. Снижение давления с высотой влечет за собой уменьшение обеспеченности кислородом и обезвоживание животных за счет увеличения частоты дыхания. Несколько более выносливы членистоногие (ногохвостки, клещи, пауки), которые могут встречаться на ледниках, выше границы растительности. Для высокогорных растений характерен приземистый рост. Во всех высокогорных областях земного шара преобладают низкорослые стелющиеся кустарники и кустарнички (рис. 4.25), подушковидные и розеточные многолетние травы, дерновидные злаки и осоки, мхи и лишайники.

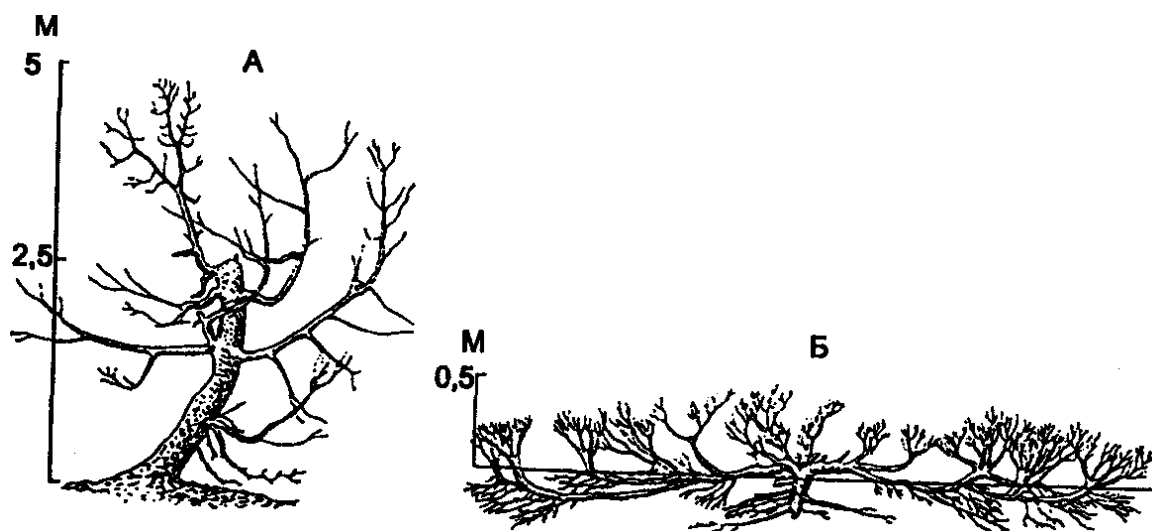


Рис. 4.25. Можжевельник туркестанский - на склонах хребта
Терекей-Алатау (по И. Г. Серебрякову, 1955):

А — древовидная форма (лугово-лесной пояс, 2900 м над уровнем моря); Б — стланик (субальпийский пояс, 3200 м над уровнем моря)

Характерная морфологическая черта многих высокогорных приземистых растений, например кустарников и кустарничков, — значительное преобладание подземной массы по сравнению с надземной.

Низкорослость высокогорных растений связывают с адаптацией к низким температурам и с формообразующим действием радиации, богатой коротковолновой частью спектра, тормозящей ростовые процессы. В анатомическом строении высокогорных растений есть ряд черт, которые способствуют защите от избыточной радиации, связаны с характером водного режима и обмена веществ в высокогорьях: утолщение покровных тканей, придающих устойчивость к сильным ветрам и т. д. У растений, живущих на скалах, наблюдаются изменения в сторону ксероморфоза: уменьшаются размеры клеток и возрастает плотность тканей, увеличивается число устьиц на единицу поверхности листа, уменьшаются их размеры. У видов же, обитающих вблизи талых вод или других источников увлажнения, листья крупнее и ксероморфные черты выражены слабее.

Низкие температуры и сильная освещенность способствуют образованию больших количеств антоциана, отсюда глубокие, насыщенные тона окраски цветов. Сочетание небольших листьев при малом росте и крупных яркоокрашенных цветков — характерная черта многих альпийских растений.

Характерная черта физиологии и биохимии высокогорных растений — повышение интенсивности окислительно-восстановительных процессов, увеличение активности участвующих в них ферментов (каталазы, пероксидазы и др.), более низкие, чем у равнинных растений, температурные оптимумы их работы.

Дыхание высокогорных растений устойчиво к неблагоприятным воздействиям, как правило, наблюдается усиление дыхания, а следовательно, и увеличение энергии, освобождающейся при распаде сложных соединений. По

современным представлениям, это является одной из физиологических основ приспособленности растений к крайним условиям.

При поднятии в горы меняется и сезонное развитие растений. Так, весной, поднимаясь в горы, можно видеть развитие одного и того же вида в следующей последовательности: в низкогорном поясе — цветение, в среднем — бутонизацию, еще выше — начало вегетации и, наконец, только появление после таяния снега. Осенью же при подъеме в горы наблюдаем ускоренное наступление осенних фаз: расцветивание листвы, листопад, отмирание надземных частей. Четко прослеживается сокращение у растений вегетационного периода.

Наряду с высотой над уровнем моря большое значение для живых организмов имеют экспозиция и крутизна склонов.

В северном полушарии склоны гор, обращенные на юг, получают больше солнечного света, интенсивность света и температура здесь выше, чем на дне долины и на склонах северной экспозиции. В южном же полушарии наблюдается обратная ситуация. Это оказывает поразительное влияние как на естественную растительность, так и на угодья, используемые человеком. Например, широкие расщелины между скалами над Дунаем в восточной Сербии, защищенные от ветров и испытывающие увлажняющее действие реки, способствовали сохранению многих редких, реликтовых и эндемических видов растений, среди них «медвежий орешник» — *Corylus colurna*, грецкий орех — *Juglans regia*, сирень (дикая форма) — *Syringa vulgaris* и др.

Для крутых склонов характерны быстрый дренаж и смывание почв. Здесь почвы обычно маломощные и более сухие, с ксероморфной растительностью. При уклоне, превышающем 35° , почва не образуется, растительность отсутствует, создаются осыпи из рыхлого материала.

4.7. Прочие физические факторы

К прочим физическим факторам, окружающим живые организмы на Земле, относят главным образом *атмосферное электричество, огонь, шум, магнитное поле Земли, ионизирующие излучения*.

Атмосферное электричество действует на живые организмы посредством разрядов и ионизации воздуха. Например, известно губительное действие молний при попадании в крупные деревья, животных. Есть определенные закономерности в частоте повреждаемости молнией различных древесных пород. Это связывают как с формой кроны, так и с электропроводящими свойствами коры, например с быстротой ее намокания. По частоте поражения молниями на первом месте стоят ель и сосна, затем береза, а осина повреждается значительно реже. Молнии вызывают механическое повреждение деревьев (расщепление стволов, трещины), выпадение крупных деревьев, тем самым оказывают влияние на структуру древостоя, зачастую являясь причиной возникновения пожаров. Около 21% пожаров лесных угодий России происходит по вине молний, при грозах.

Роль атмосферных электрических разрядов состоит и в том, что они во

время грозы из атмосферного азота и кислорода синтезируют окиси азота, которые с дождевыми водами попадают в почву и накапливаются в ней от 4 до 10 кг в год на 1 гектар в форме селитры и азотной кислоты.

Действие ионизации воздуха на человека, животных и растения еще недостаточно изучено. Вместе с тем достоверно установлена прямая зависимость между самочувствием человека и присутствием легких ионов в воздухе. Высказывается мнение, что ионизация воздуха служит материальной способности некоторых растений «предсказывать погоду» (снижение фотосинтеза и дыхания, закрывание устьиц и прекращение транспирации перед грозой задолго до падения атмосферного давления). Экспериментально доказано влияние слабого тока на корневые системы некоторых растений. Например, у саженцев ели и сосны фитомасса увеличивается на 100—120%. Установлена возможность с помощью воздействия направленного электрического поля регулировать темпы перемещения веществ внутри дерева, а следовательно, и темпы его роста.

Огонь в жизни растений и животных — довольно редкий, но весьма действенный фактор. Пожары, например, в лесах, как уже было отмечено ранее, могут возникать как естественным путем от ударов молний, так и по вине человека, его деятельности. Поэтому огонь относят как к естественным экологическим факторам, так и антропогенным.

Серьезные последствия имеют не только верховые лесные пожары, охватывающие весь древостой, но и низовые, которые губят напочвенную растительность, подрост, нижние ветви деревьев, нередко корневую систему. Гибнут животные. Кроме повреждений непосредственно от огня пожары вызывают ухудшение состояния древостоя. Снижается прирост. Ослабленные деревья в большей степени заражаются грибами, такими, как древесная гниль, легко проникающими через «огневые раны», подвергаются нападению насекомых-вредителей.

Лесные пожары сильно изменяют условия обитания растений и животных. Во время пожара в хвойных лесах температура доходит до 800—900°C, в почве на глубине 3,5 см — до 95°C, на глубине 7 см — до 70°C. В сухих лесах практически полностью сгорает подстилка и почвенный гумус. Минеральные частицы верхнего слоя почвы спекаются. Образуются комки или стекловидная корка, трудно проницаемые для воздуха, воды и корней. Почва сильно уплотняется. От сгорания органических кислот и освобождения оснований кислотность почвы резко уменьшается, в верхних горизонтах значение pH нередко доходит до сильнощелочного. От высокой температуры верхние слои почвы стерилизуются — гибнет почвенная микрофлора, а в более глубоких — изменяется ее состав, происходит обеднение наиболее важными для жизнедеятельности растений группами. Так, в почвах хвойных лесов после пожаров преобладает деятельность микроорганизмов, вызывающих маслянокислое брожение и денитрификацию.

После лесных пожаров происходит резкое изменение условий в растительных сообществах (осветление, изменение температурного и других факторов микроклимата), особенно когда произошло уничтожение древостоя, и

ведет к тому, что в дальнейшем гари заселяются видами живых организмов с различными адаптивными особенностями, помогающими перенести пожар и выжить на горях. Так, у растений это глубокие подземные почки возобновления, способность семян долго сохраняться в почве и выдерживать высокую температуру, выносливость к заморозкам, сильной освещенности и т. д.

Возобновление растительности на горях имеет свои особенности. На выжженных местах из спор, занесенных ветром, появляются мхи-пионеры, через три — пять лет из мхов наиболее обилен «пожарный мох» — *Funaria hygrometrica*. Из высших растений быстро заселяет гари иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*). Постепенное заселение гарей происходит и древесной растительностью — ивой, березой, осиной и др. (рис. 4.26).

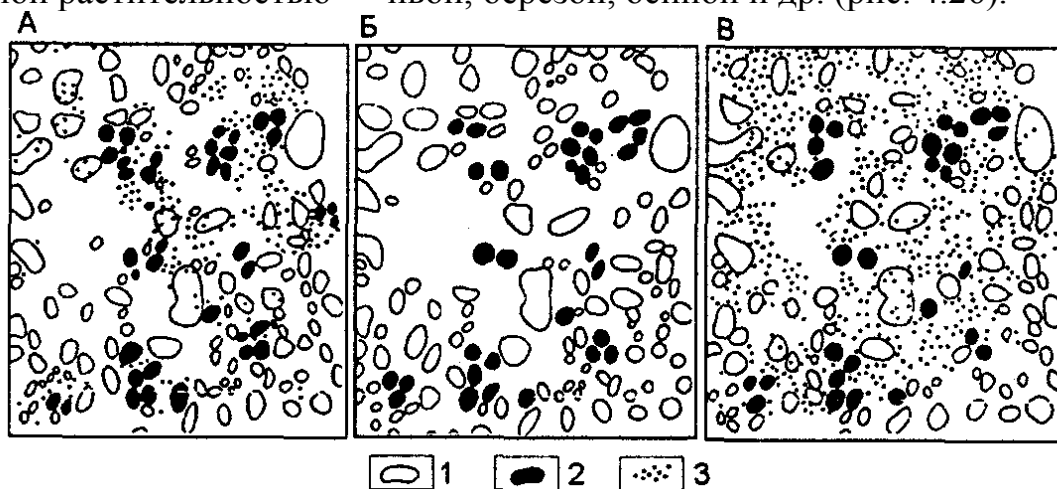


Рис. 4.26. Влияние пожара на растительность древесных «колков»

Зауральской лесостепи (по Д. Ф. Федюнину, 1953) :

А — до пожара; Б — после пожара; В — через год после пожара; 1 — ива; 2 — береза, 3 — осина

Степные пожары («палы») могут быть более или менее регулярными, связанными с деятельностью человека, и играть существенную роль в жизни живых организмов, иногда и положительную для регулирования роста, возобновления, отбора видов и поддержания постоянного состава травостоя.

Шум как естественный экологический фактор для живых организмов несуществен, но может оказывать и существенное воздействие с усилением антропогенных воздействий (шум, возникающий при работе транспортных средств, оборудования промышленных и бытовых предприятий, вентиляционных и газотурбинных установок и др.).

Величину звуковых давлений изменяют и нормируют в децибелах. Весь диапазон слышимых человеком звуков укладывается в 150 дБ. На нашей планете жизнь организмов проходит в мире звуков. Например, орган слуха человека приспособлен к некоторым постоянным или повторяющимся шумам (слуховая адаптация). Человек теряет работоспособность без привычных шумов. Сильный шум еще более отрицательно сказывается на здоровье человека. У людей, живущих и работающих в неблагоприятных акустических

условиях, имеются признаки изменения функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

Исследованиями доказано воздействие шума и на растительные организмы. Так, растения близ аэродромов, с которых непрерывно стартуют реактивные самолеты, испытывают угнетение роста и даже отмечается исчезновение отдельных видов. В целом ряде научных работ показано угнетающее действие шума (около 100 дБ с частотой звука от 31,5 до 90 тыс. Гц) на растения табака, где обнаруживали снижение интенсивности роста листьев, в первую очередь у молодых растений. Привлекает внимание ученых и действие ритмических звуков на растения. Исследования по изучению действия музыки на растения (кукуруза, тыква, петуния, циния, календула), проведенные в 1969 г. американским музыкантом и певицей Д. Ретолэк, показали, что на музыку Баха и индийские музыкальные мелодии растения отзывались положительно. Их габитус, сухой вес биомассы были наибольшими по сравнению с контролем. И что самое удивительное, так это то, что их стебли прямо-таки тянулись к источнику этих звуков. В то же время на рок-музыку и непрерывные барабанные ритмы зеленые растения отвечали уменьшением размеров листьев и корней, снижением массы, и все они отклонялись от источника звука, как будто бы хотели уйти от губительного действия музыки (рис. 4.27).



Рис. 4.27. Вид растений после действия разной музыки:

А — индийские мелодии (Р. Шанкар); Б — музыка И.-С. Баха; В — рок-музыка (опыты Д. Ретолэк, 1969)

Растения, подобно людям, реагируют на музыку как целостный живой организм. Их чувствительными «нервными» проводниками, по мнению ряда ученых, являются флоэмные пучки, меристема и возбудимые клетки, расположенные в разных частях растения, связанные между собой биоэлектрическими процессами. Вероятно, этот факт — одна из причин сходства реакции на музыку у растений, животных и человека.

Магнитное поле Земли. Наша планета Земля обладает магнитными свойствами. Стрелка компаса всегда ориентируется по магнитному меридиану,

указывая одним концом на север, другим — на юг. Магнитолог Гпоказали, что для создания наблюдаемого геомагнитного поля в центре Земли необходимо поместить гигантский цилиндрический магнит диаметром 200 км и длиной 4000 км. Ось земного магнита расположена под углом $1,5^\circ$ к оси вращения Земли, поэтому магнитные полюса не совпадают с географическими. Со временем магнитные полюса меняют свое положение. Установлено, что северный магнитный полюс за сутки перемещается по поверхности Земли на 20,5 м, или 7,5 км в год, а Южный — на 30 м (11 км в год). Как у всякого магнита, магнитные силовые линии Земли выходят из одного полюса и через околоземное пространство замыкаются в другом полюсе. За счет этого явления около Земли создается магнитосфера (рис. 4.28).

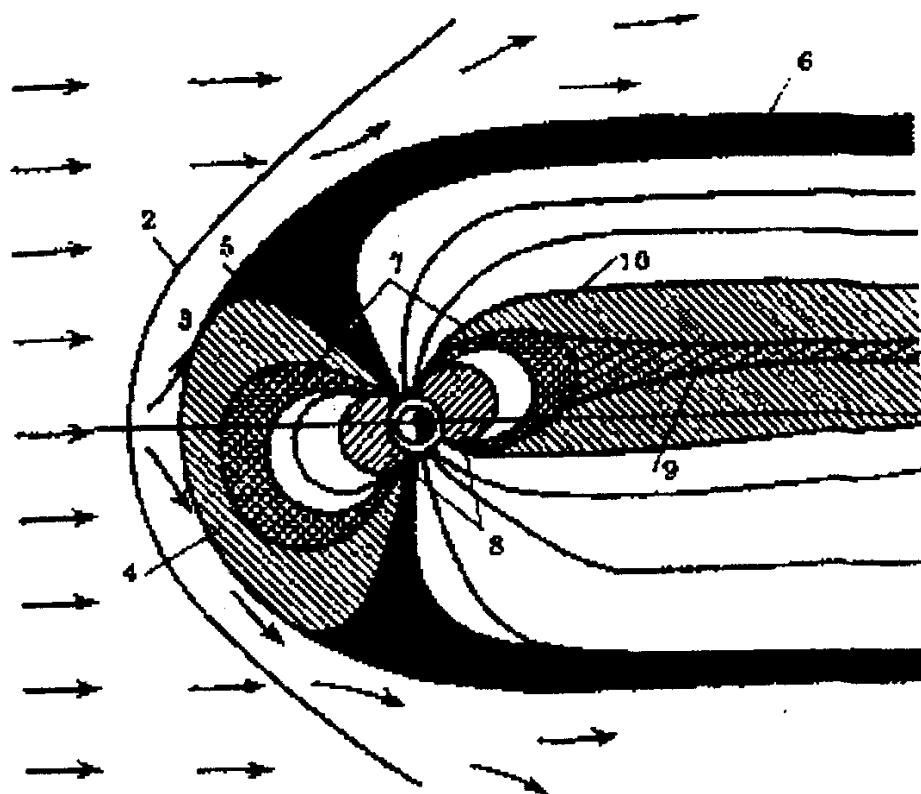


Рис. 4.28. Меридиональные сечения магнитосферы Земли:

1 — солнечный ветер; 2 — ударный фронт; 3 — магнитная полость; 4 — магнитопауза; 5 — верхняя граница магнитосферной щели; 6 — плазменная мантия; 7 — внешний радиационный пояс; 8 — внутренний радиационный пояс, или плазмосфера; 9 — нейтральный слой; 10 — плазменный слой

Она задерживает потоки солнечных заряженных частиц, называемых плазмой, или солнечным ветром, не пропуская их к поверхности планеты. Солнечный ветер как бы огибает Землю и смещается на ночную сторону, вытягивая, в свою очередь, и магнитные силовые линии в этом же направлении. Деформация магнитных силовых линий связана с тем, что потоки солнечной плазмы несут с собой как бы «вмороженное» магнитное поле, которое и взаимодействует с магнитосферой Земли. За последние 600 тыс. лет палеомагнитологи зафиксировали 12 эпох инверсии геомагнитного поля (табл.

4.10).

Таблица 4.10

**Инверсия магнитного поля Земли за последние 600 тыс. лет
(по Е. М. Филиппову, 1990)**

Европейская шкала (по данным различных авторов), тыс. лет	Шкала Конг Юсуци (по данным анализа Керна с берега Желтого моря), тыс. лет	Название периода инверсии для европейской шкалы
—	2,9-3,2	—
—	7-8	—
10-12	11-13	Готтенбург
20-24	19-31	Лашами
36-36	41-43	Каргаполова
	50-60	—
106-112	110-130	Блейк (х-зона)
218-268	198-215	Днепр-Чеган
326-346	293-311	у-зона
378	400-420	Уреки
500	500	—
600	—	—

К этим эпохам приурочиваются геологические, климатические, биологические изменения на Земле, Спад геомагнитного поля до минимального значения происходит примерно за 2700 лет, а его восстановление — за 8700 лет, т. е. полный цикл составляет около 11 400 лет. Г. Н. Матюшин (1982) считает, что инверсия, происшедшая 250 тыс. лет назад, привела к появлению неандертальца, обладающего зачатками речи.

Таким образом, жизнь на Земле существует в условиях естественного (земного) магнитного поля. Однако напряженность его не везде одинакова. На Земле есть области сильных магнитных аномалий, например в районах залежей магнетитовых и других руд, богатых железом, где напряженность магнитного поля зачастую превышает среднюю величину в 2—3 раза (район Курской магнитной аномалии — КМА).

В последние годы значительно возрастает количество электромагнитной энергии, рассеиваемой в атмосферу электростанциями, радио- и телетрансляционными станциями, линиями электропередач. К 2000 г., по прогнозам, оно составит 0,01% солнечной радиации, а следовательно, явится существенным экологическим фактором. С этой точки зрения представляют интерес экспериментальные исследования, в которых выявляется чувствительность к действию магнитного поля. Например, в 1960 г. была обнаружена способность растений реагировать на направление магнитных силовых линий поля Земли. Семена растений, ориентированные зародышевой частью к южному магнитному полюсу, прорастали более энергично, проростки росли быстрее, чем в случае противоположной или поперечной ориентации. Восприимчивость растений к магнитным воздействиям иллюстрируется рядом других факторов: изгибание корешков и проростков высших растений, спорангиев низших грибов по направлению магнитных силовых линий,

получившего название «магнитотропизма». Отмечено влияние магнитного поля на преобладание особей мужского или женского пола у некоторых двудомных видов, стимулирующее действие на рост культурных растений, подавление инфекции, например у пшеницы и ячменя, грибного и бактериального характера.

Обследование свекловичных полей Белгородской области (зона КМА) показало отставание роста ботвы и корней сахарной свеклы в районе с аномальным магнитным полем. В целом ряде экспериментальных исследований выявлено, что искусственные магнитные поля большой напряженности вызывают у растений различные нарушения.

Возможность восприятия позвоночными животными магнитного поля обсуждается в научной литературе с середины XIX в. Впервые данный вопрос на научной основе был поставлен в 1855 г. русским ученым А. Т. Миддендорфом, предположившим возможность ориентации птиц по геомагнитному полю. Позднее аналогичное предположение было высказано и в отношении рыб, а с открытием электрорецепторов проблема восприятия магнитного поля рыбами получила новый толчок к развитию. Оказалось, что ампулы Лоренции скатов очень чувствительны к изменению магнитного поля, вертикально пронизывающего тело.

Ионизирующие излучения. Живые организмы нашей планеты постоянно испытывают на себе воздействие ионизирующего излучения. Это необходимый компонент обитания в биосфере. *Излучение с очень высокой энергией, которое способно выбивать электроны из атомов и присоединять их к другим атомам с образованием пар положительных и отрицательных ионов, называется ионизирующим излучением.* Такой способностью не обладают свет и большая часть солнечного излучения.

Изотопы элементов, которые испускают радиоактивное излучение, называются *радиоактивными изотопами, или радионуклидами.*

Из трех видов ионизирующего излучения, которые имеют важное экологическое значение, два представляют собой корпускулярное излучение (альфа- и бета-частицы), а третье — электромагнитное (гамма-излучение и близкое ему рентгеновское излучение). Корпускулярное излучение состоит из потока атомных или субатомных частиц, передающих свою энергию всему, с чем они сталкиваются. *Альфа-излучение* — это ядра атомов гелия, имеющие по сравнению с другими частицами огромные размеры. Длина пробега их в воздухе равняется нескольким сантиметрам, их останавливает листок бумаги или верхний роговой слой кожи человека. При остановке они вызывают сильную локальную ионизацию. *Бета-излучение* — это быстрые электроны. Они гораздо меньше, и длина их пробега в воздухе равна нескольким метрам, а в ткани — нескольким сантиметрам. Свою энергию они отдают на протяжении более длинного следа. *Ионизирующее электромагнитное излучение* сходно со световым, отличаясь более короткой длиной волны, оно проходит в воздухе большие расстояния и легко проникает в вещество, высвобождая свою энергию на протяжении длинного следа, так называемая рассеянная ионизация. *Гамма-излучение* легко проникает в живые ткани, может пройти сквозь организм, не

оказав никакого воздействия, или не может вызвать ионизацию на большом отрезке своего пути. Действие гамма-излучения зависит от размера источника и энергии, от расстояния между организмами и источником излучения, так как интенсивность излучения экспоненциально падает с увеличением расстояния. Свойства альфа-, бета- и гамма-излучения схематически показаны на рис. 4.29.

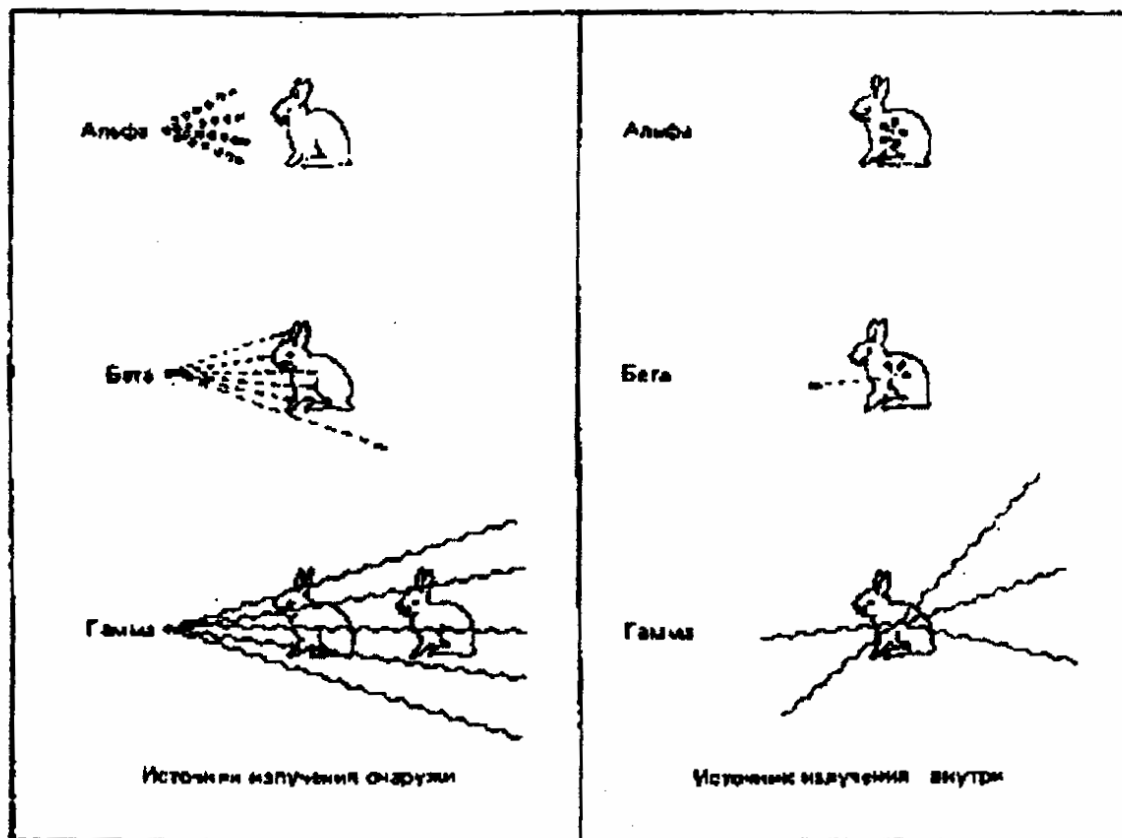


Рис. 4.29. Три типа ионизирующего излучения (по Ю. Одуму, 1986)

Примечание. Показана относительная проникающая способность и специфический ионизирующий эффект

Следовательно, в последовательности альфа-, бета- и гамма-излучения проникаемость возрастает, а плотность ионизации и локальное повреждение уменьшаются. Радиоактивные вещества, испускающие альфа- и бета-излучение, нередко называют «внутренними излучателями», как обладающие наибольшим эффектом, будучи поглощены, заглочены или оказались каким-то образом вблизи или внутри живой ткани. К «внешним излучателям» относят радиоактивные вещества, испускающие преимущественно гамма-излучение. Это проникающее излучение, оказывающее действие, когда его источник находится вне организма.

Другие типы излучения также представляют определенный интерес. Так, *нейтроны* — это крупные незаряженные частицы, сами по себе не вызывающие ионизацию, но, выбивая атомы из стабильных состояний, они создают наведенную радиоактивность в нерадиоактивных материалах или тканях, сквозь которую проходят. При одинаковом количестве поглощенной энергии «быстрые нейтроны» вызывают в 10, а «медленные» — в 5 раз большие

поражения, чем гамма-излучение. Нейтронное излучение обнаруживается вблизи атомных реакторов и в местах ядерных взрывов, но оно играет основную роль при образовании радиоактивных веществ, которые в дальнейшем широко распространяются в природе.

Рентгеновское излучение представляет собой электромагнитное излучение, очень близкое гамма-излучению. Оно обусловлено выбиванием электронов из внешних электронных оболочек, не испускается радиоактивными веществами, рассеянными в окружающей среде.

Естественное ионизирующее излучение складывается из трех составляющих: космическая радиация (протоны, альфа-частицы, гамма-лучи), излучение радиоактивных веществ, присутствующих в горных породах, почве, и излучение радиоактивных веществ, попадающих в организм с воздухом, пищей и водой.

Ионизирующее излучение в окружающей среде значительно повысилось в результате использования человеком атомной энергии (атомное оружие, атомные электростанции), рис. 4.30.

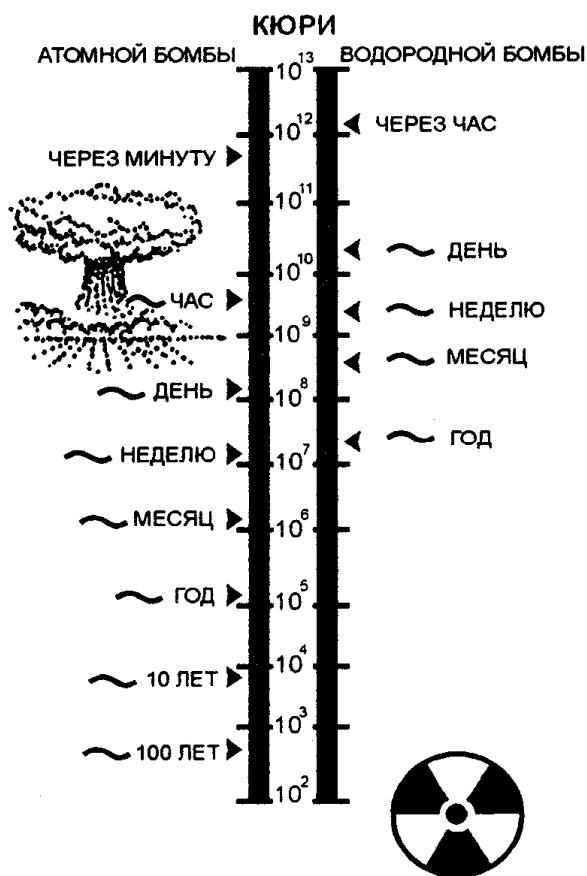


Рис. 4.30. Излучение в эпицентре взрыва атомной и водородной бомб

Так, при испытании атомного оружия в атмосферу вносятся радионуклиды, которые в дальнейшем выпадают повсюду в виде радиоактивных осадков. Около 10% энергии ядерного оружия представляют собой остаточную радиацию (Ю. Одум, 1986).

Атомные электростанции: получение топлива для их работы, транспортировка и захоронение радиоактивных отходов и наконец аварии —

опаснейшие источники загрязнения природной среды. Например, после аварии 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС данные изотопного анализа первых проб воздуха, воды и почвы, отобранных 26 апреля — 1 мая, показали, что около 30% общей активности приходилось на долю йода-131. Кроме йода-131 в пробах были обнаружены изотопы бария и лантана-140, цезия-137 и -134, рутения-103, циркония-95, теллура-132, церия-141 и нептуния-239, а в зоне отселения, в ближайшей зоне от объекта аварии — изотопы стронция-90 и плутония-239, -240.

Характеризуя степень заражения местности, уровни радиации, дозы облучения, применяют термин *радиоактивность*, предложенный в 1898 г. Марией Склодовской-Кюри. *Радиоактивность* можно измерить в различных единицах — в беккерелях, кюри, рентгенах, резерфордах, греях, зивертах и т. д., & *мощность излучения* — в этих же единицах, отнесенных к единице времени (секунде, часу, суткам, неделе, месяцу, году). Основной единицей радиоактивности служит кюри (КИ). 1 Кюри — активность такого количества радиоактивного вещества, в котором происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов атомов в секунду, т. е. происходит $2,2 \cdot 10^{12}$ распадов в минуту (расп.·мин.⁻¹). С биологической точки зрения 1 КИ — активность довольно высокая. В связи с этим на практике широкое применение находят более мелкие единицы: *милликюри* (мКИ = 10^{-3} КИ); *микрокюри* (мкКР = 10^{-6} КИ); *нанокюри* (нКИ = 10^{-9} КИ); *пикокюри* (пКИ = 10^{-12} КИ). Активность, выраженная в кюри, показывает интенсивность альфа-, бета- или гамма-излучения. Однако это ничего не говорит о действии, которое эти излучения оказывают на организмы, попавшие «под обстрел».

1 *рентген* — доза рентгеновских (или гамма-) лучей, при которой в 1 см³ воздуха образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов (или в 1 г воздуха — $1,61 \cdot 10^{12}$ пар ионов). На практике удобны дозы в 1000 раз меньше единицы — миллирентген (мР) или миллирад (мрад) для измерения тех уровней излучения, которые часто регистрируются в окружающей среде.

Доза излучения, полученная в единицу времени, называется *мощностью дозы*. Например, если организм получает 10 мР в час, то суммарная доза за 24 ч составляет 240 мР, или 0,240 Р.

Космическое и ионизирующее излучения, испускаемые природными радиоактивными веществами, содержащимися в воде и почве, образуют так называемое *фоновое излучение*, к которому адаптирована ныне существующая биота. Ряд ученых считает, что поток генов в биоте поддерживается из-за наличия этого фонового излучения. В разных частях биосферы естественный фон различается в 3-4 раза.

Наибольшая его интенсивность наблюдается на больших высотах в горах, образованных гранитными породами, а наименьшая — около поверхности моря и в его поверхностных слоях. Интенсивность космического излучения повышается с увеличением высоты местности над уровнем моря, а гранитные скалы содержат больше встречающихся в природе радионуклидов, чем осадочные породы. Суммарная доза, создаваемая естественным излучением, довольно сильно варьируется в различных районах Земли.

Помимо естественного радиоактивного фона, есть еще понятие *техногенно-усиленного радиационного фона*, т. е. усиленного в результате деятельности человека. Из чего он складывается? Естественный фон дает примерно одну треть так называемой популяционной дозы общего фона или средней дозы ионизирующего излучения, которая приходится на каждого жителя. Еще треть человек получает при медицинских диагностических процедурах: рентгеновских снимках, флюорографии, просвечиваниях и т. д.

Остальную ее часть дает пребывание человека в современных зданиях. В кирпиче и бетоне присутствуют, хотя и в малых количествах, такие радиоактивные элементы, как уран, торий, радий и др. Вклад в техногенно-усиленный фон вносят и выбросы из современных тепловых станций, котелен, работающих на угле, так как уголь также содержит рассеянные радиоактивные элементы. При полетах на самолетах человек также получает небольшую дозу ионизирующего излучения. На высоте 12 000 м, где проходят трассы современных самолетов, естественный фон усиливается в 1,5—2 раза. В целом по стране техногенный фон колеблется от 200 до 400 мР/год.

Любое изменение в облучаемом объекте, вызванное ионизирующим излучением, называется *радиационно-индуцированным эффектом*.

Ионизирующее облучение оказывает на более высокоразвитые и сложные организмы более губительное или повреждающее действие. Человек отличается особой чувствительностью. У высших растений чувствительность к ионизирующему излучению, по данным экспериментов, прямо пропорциональна размеру клеточного ядра (точнее — объему хромосом или содержанию ДНК).

У высших животных не обнаружено такой прямой зависимости между чувствительностью и строением клеток. Для них более важное значение имеет чувствительность отдельных систем органов. Например, млекопитающие чувствительны к низким дозам вследствие легкой повреждаемости облучением быстро делящейся ткани костного мозга. Низкие уровни хронически действующего ионизирующего излучения могут вызывать в костях и других чувствительных тканях опухолевый рост даже через несколько или много лет после облучения.

В 50—70-х гг. XX в. широко проводилось изучение влияния гамма-излучения, как правило кобальта-60 и цезия-137 с активностью 10000 Ки и выше, на сообщества и экосистемы. Вблизи от этих мощных источников не выживало ни одно высшее растение или животное. Замедление роста растений и уменьшение видового разнообразия животных отмечалось и при таких низких уровнях, как 2—5 рад в сутки. Радионуклиды, попадая в окружающую среду, рассеиваются, разбавляются и могут различными способами накапливаться в живых организмах при движении по пищевой цепи. Эти явления называют «биологическим накоплением». Радиоактивные вещества обладают способностью накапливаться в воде, почве, осадках или в воздухе, если скорость их поступления превышает скорость естественного радиоактивного распада. И зачастую небольшое, казалось бы, безобидное количество радиоактивных веществ может стать в дальнейшем смертельно опасным.

5. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ

На нашей планете живые организмы в ходе длительного исторического развития освоили четыре среды жизни, которые распределились

соответственно минеральным оболочкам: гидросфера, литосфера, атмосфера (рис. 5.1).

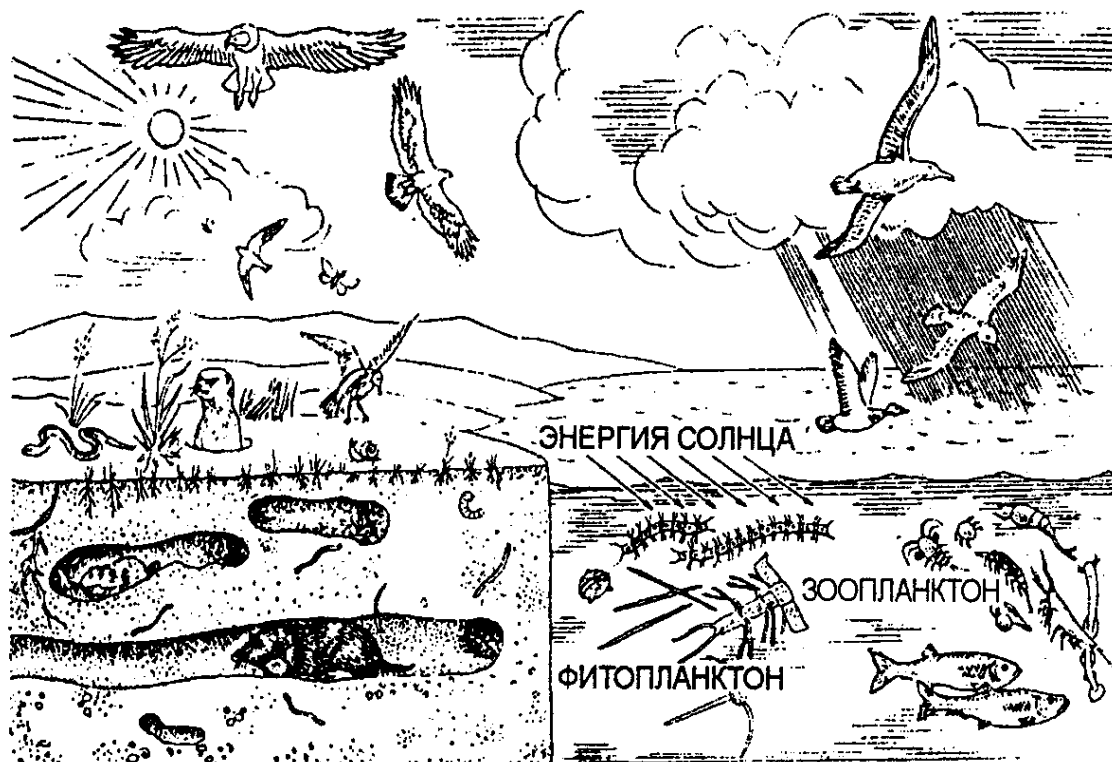


Рис. 5.1. Основные среды жизни

Водная среда была первой, в которой возникла и распространилась жизнь. В дальнейшем, в ходе исторического развития, организмы начали заселять наземно-воздушную среду. Появились наземные растения и животные, бурно эволюционируя, адаптируясь к новым условиям жизни. Функционирование живого вещества на суше привело к постепенному преобразованию поверхностного слоя литосферы в почву, по выражению В. И. Вернадского (1978), в своеобразное биокосное тело планеты. Почву заселили как водные, так и наземные организмы, создав специфический комплекс ее обитателей.

Четвертой средой жизни стали сами живые организмы, каждый из которых является целым миром для населяющих его паразитов и симбионтов.

5.1. Водная среда жизни

Общая характеристика. Гидросфера как водная среда жизни занимает около 71% площади и 1/800 часть объема земного шара. Основное количество воды, более 94%, сосредоточено в морях и океанах (рис. 5.2).

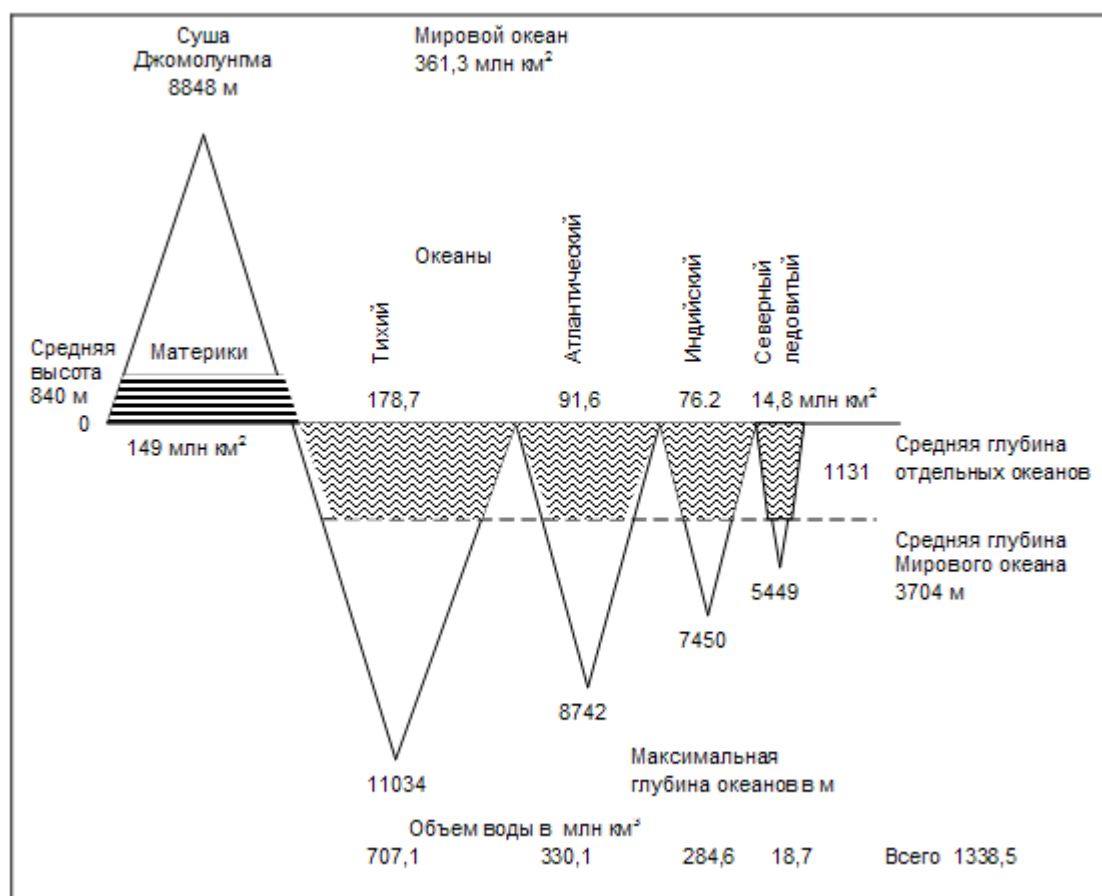


Рис. 5.2. Мировой океан в сравнении с сушей (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

В пресных водах рек, озер количество воды не превышает 0,016% общего объема пресной воды.

В океане с входящими в него морями прежде всего различают две экологические области: толщу воды — *пелагиаль* и дно — *бенталь*. В зависимости от глубины бенталь делится на *сублиторальную* зону — область плавного понижения суши до глубины 200 м, *батиальную* — область крутого склона и *абиссальную* зону — океанического ложа со средней глубиной 3—6 км. Более глубокие области бентали, соответствующие впадинам океанического ложа (6—10 км), называют *ультраабиссалью*. Кромка берега, заливаемая во время приливов, называется *литоралью*. Часть берега выше уровня приливов, увлажняемая брызгами прибоя, получила название *супралиторали*.

Открытые воды Мирового океана также делятся на зоны по вертикали соответственно зонам бентали: *типелигиаль*, *бати-пелигиаль*, *абиссопелигиаль* (рис. 5.3).

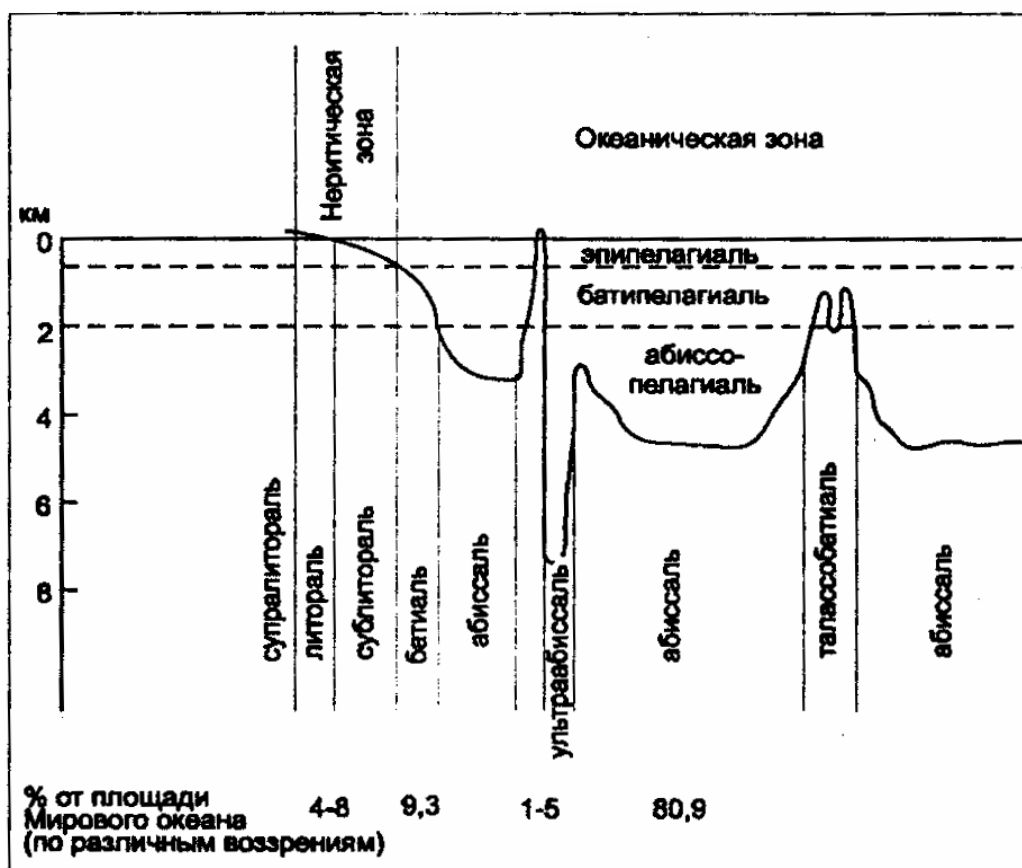


Рис. 5.3. Вертикальная экологическая зональность океана (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

В водной среде обитает примерно 150 000 видов животных, или около 7% общего их количества (рис. 5.4) и 10 000 видов растений (8%).

Следует обратить внимание и на то, что представители большинства групп растений и животных остались в водной среде (своей «колыбели»), но число их видов значительно меньше, чем наземных. Отсюда вывод — эволюция на суше проходила значительно быстрее.

Разнообразием и богатством растительного и животного мира отличаются моря и океаны экваториальных и тропических областей, в первую очередь Тихого и Атлантического океанов. На север и юг от этих поясов качественный состав постепенно обедняется. Например, в районе Ост-Индского архипелага распространено не менее 40 000 видов животных, тогда как в море Лаптевых всего 400. Основная масса организмов Мирового океана сосредоточена на относительно небольшой по площади зоне морских побережий умеренного пояса и среди мангровых зарослей тропических стран.

Удельный вес рек, озер и болот, как уже было отмечено ранее, по сравнению с морями и океанами незначителен. Однако они создают необходимый для растений, животных и человека запас пресной воды.

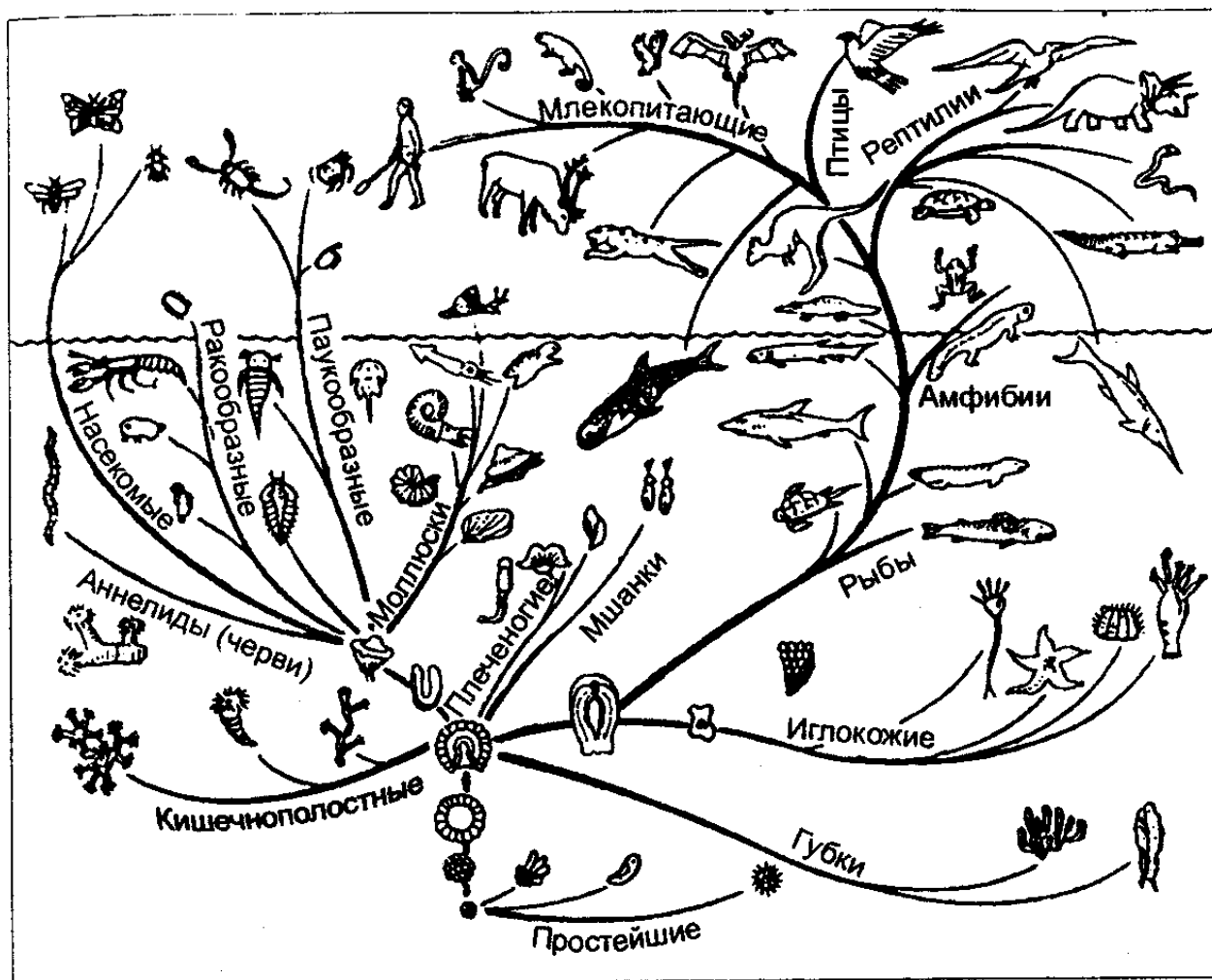


Рис. 5.4. Распределение основных классов животных по средам обитания (по Г. В. Войткевич и В. А. Вронскому, 1989)

Примечание животные, помещенные ниже волнистой линии, обитают в море, выше ее — в наземно-воздушной среде

Известно, что не только водная среда оказывает сильное влияние на ее обитателей, но и живое вещество гидросферы, воздействуя на среду обитания, перерабатывает ее и вовлекает в круговорот веществ. Установлено, что вода океанов, морей, рек и озер разлагается и восстанавливается в биотическом круговороте за 2 млн лет, т. е. вся она прошла через живое вещество на Земле не одну тысячу раз.

Следовательно, современная гидросфера представляет собой продукт жизнедеятельности живого вещества не только современной, но и прошлых геологических эпох.

Характерной чертой водной среды является ее *подвижность*, особенно в проточных, быстро текущих ручьях и реках. В морях и океанах наблюдаются приливы и отливы, мощные течения, штормы. В озерах вода перемещается под действием температуры и ветра.

Экологические группы гидробионтов. Толща воды, или *пелагиаль* (pelages — море), заселена пелагическими организмами, которые обладают способностью плавать или удерживаться в определенных слоях (рис. 5.5).

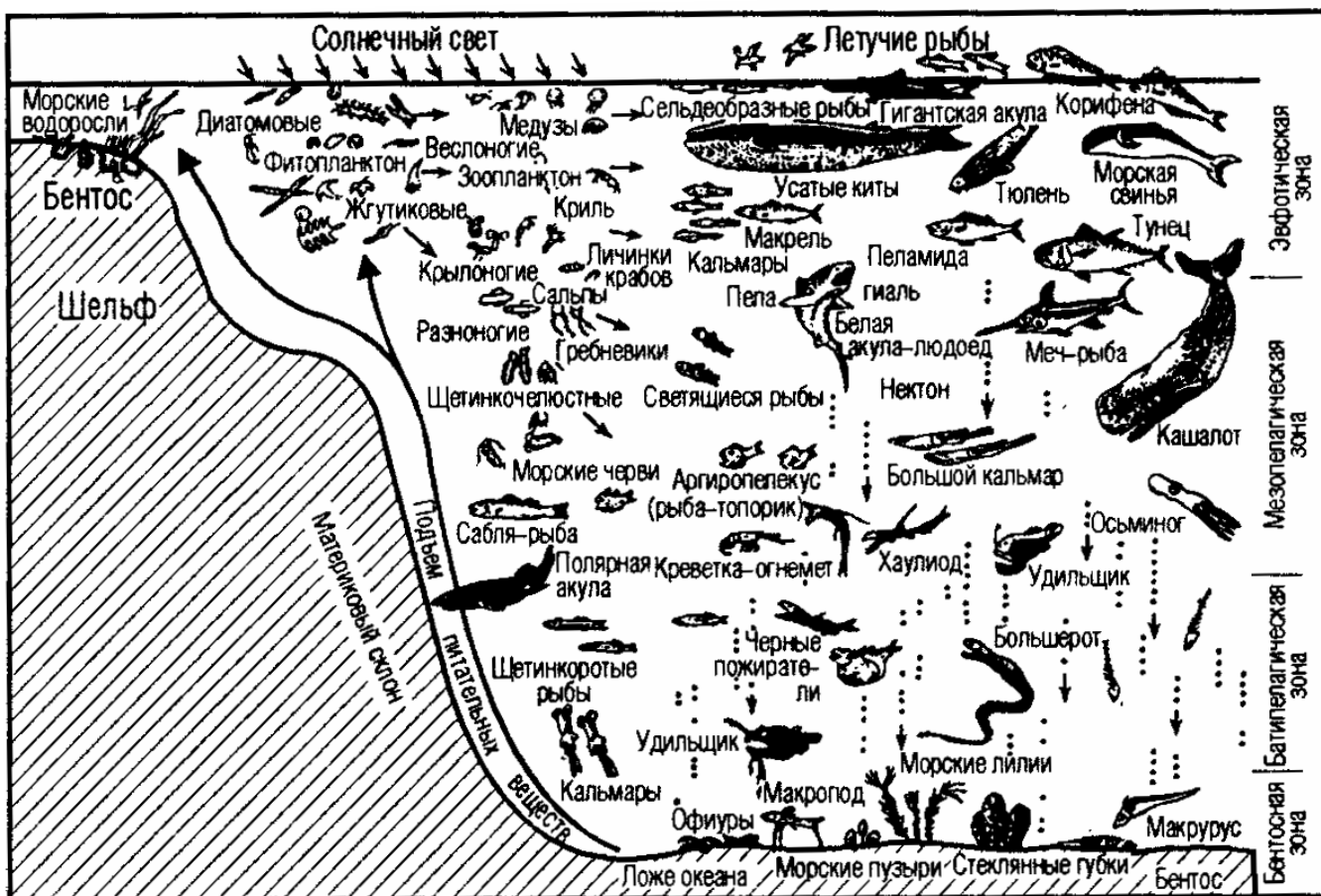


Рис. 5.5. Профиль океана и его обитатели (по Н. Н. Моисееву, 1983)

В связи с этим данные организмы подразделяются на две группы: *нектон* и *планктон*. Третью экологическую группу — *бентос* — образуют обитатели дна.

Нектон (nektos — плавающий) — это совокупность пелагических активно передвигающихся животных, не имеющих непосредственной связи с дном. Это главным образом крупные животные, которые способны преодолевать большие расстояния и сильные течения воды. Они имеют обтекаемую форму тела и хорошо развитые органы движения. К типичным нектонным организмам относятся рыбы, кальмары, киты, ластоногие. К нектону в пресных водах кроме рыб относятся земноводные и активно перемещающиеся насекомые. Многие морские рыбы могут передвигаться в толще воды с огромной скоростью: до 45—50 км/ч — кальмары (*Oegophside*), 100—150 км/ч — парусники (*Jstiopharidae*) и 130 км/ч — меч-рыба (*Xiphias glabius*).

Планктон (planktos — блуждающий, парящий) — это совокупность пелагических организмов, которые не обладают способностью к быстрым активным передвижениям. Как правило, это мелкие животные — *зоопланктон* и растения — *фитопланктон*, которые не могут противостоять течениям. В состав планктона включают и «парящие» в толще воды личинки многих животных. Планктонные организмы располагаются как на поверхности воды,

на глубине, так и в придонном слое.

Организмы, располагающиеся на поверхности воды, составляют особую группу — *нейстон*. Состав нейстона зависит также от стадии развития ряда организмов. Проходя личиночную стадию, взрослая, они покидают поверхностный слой, служивший им убежищем, перемещаются жить на дно или в нижележащие и глубинные слои. К таким относятся личинки десятиногих, усконогих, веслоногих ракообразных, брюхоногих и двустворчатых моллюсков, игокожих, полихет, рыб и др.

Те же организмы, часть тела которых находится над поверхностью воды, а другая — в воде, получили название *плейстон*. К ним относят ряску (*Lemna*), сифонофоры (*Siphonophora*) и др.

Фитопланктон играет важную роль в жизни водоемов, так как это основной продуцент органического вещества. К фитопланктону относятся в первую очередь диатомовые (*Diatomeae*) и зеленые (*Chlorophyta*) водоросли, растительные жгутиконосцы (*Phytomastigina*), перидинеи (*Peridineae*) и кокколитофориды (*Coccolithophoridae*). В пресных водах широко распространены не только зеленые, но и сине-зеленые (*Cyanophyta*) водоросли.

Зоопланктон и бактерии можно встретить на различных глубинах. В пресных водах распространены большей частью плохо плавающие относительно крупные ракообразные (*Daphnia*, *Cyclopoidea*, *Ostrocooda*), много коловраток (*Rotatoria*) и простейших.

В морском зоопланктоне доминируют мелкие ракообразные (*Copepoda*, *Amphipoda*, *Euphausiaceae*), простейшие (*Foraminifera*, *Radiolaria*, *Tintinoidea*). Из крупных представителей—это крыло-ногие моллюски (*Pteropoda*), медузы (*Scyphozoa*) и плавающие гребневики (*Ctenophora*), сальпы (*Salpae*), некоторые черви (*Aleiopidae*, *Tomopteridae*).

Планктонные организмы служат важным пищевым компонентом для многих водных животных, включая и таких гигантов, как усатые киты (*Mystacoceti*), рис. 5.6.

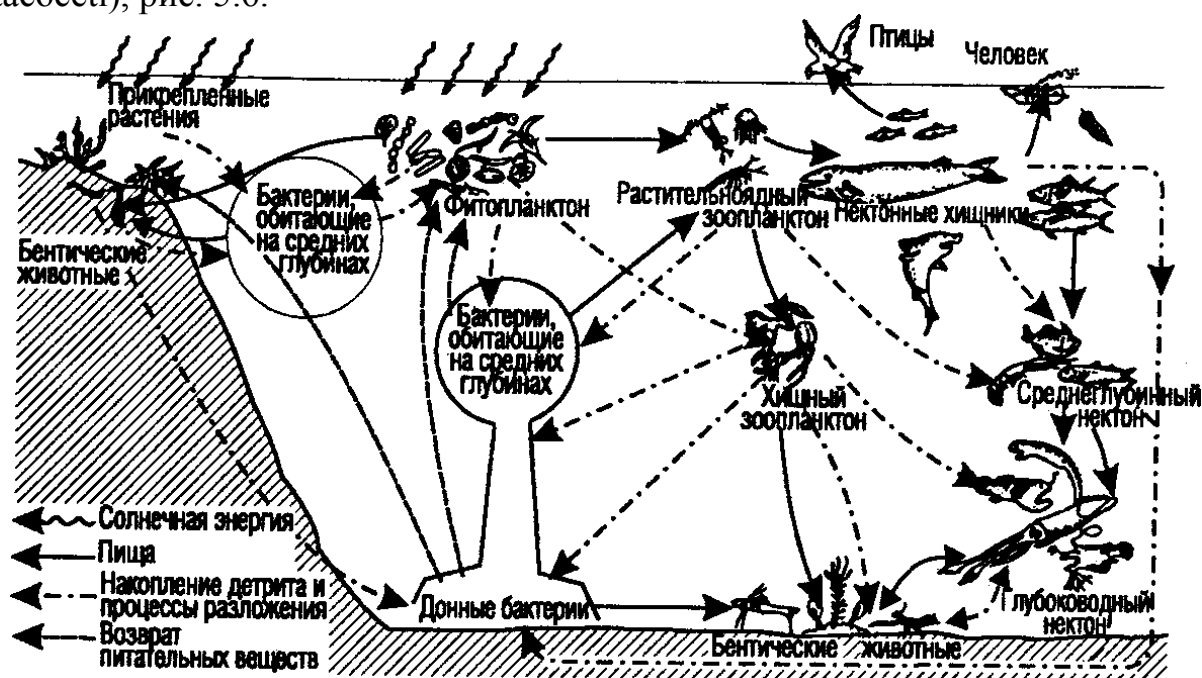


Рис 5.6. Схема основных направлений обмена энергии и вещества в океане

Бентос (benthos — глубина) — это совокупность организмов, обитающих на дне (на грунте и в грунте) водоемов. Он подразделяется на *зообентос* и *фитобентос*. Большей частью представлен прикрепленными, или медленно передвигающимися, или роющими в грунте животными. На мелководье он состоит из организмов, синтезирующих органическое вещество (продуценты), потребляющих его (консументы) и разрушающих (редуценты). На глубинах, где нет света, фитобентос (продуценты) отсутствует. В морском зообентосе доминируют фораминиферы, губки, кишечно-полостные, черви, плеченогие, моллюски, асцидии, рыбы и др. Более многочисленны бентосные формы на мелководьях. Их общая биомасса здесь может достигать десятков килограммов на 1 м^2 .

Фитобентос морей в основном включает водоросли (диатомовые, зеленые, бурые, красные) и бактерии. У побережий встречаются цветковые растения — zostера (*Zostera*), руппия (*Ruppia*), филлосподикс (*Phyllospadix*). Наиболее богаты фитобентосом скалистые и каменистые участки дна.

В озерах, как и в морях, различают *планктон*, *нектон* и *бентос*.

Однако в озерах и других пресных водоемах зообентоса меньше, чем в морях и океанах, а видовой его состав однообразен. Главным образом это простейшие, губки, ресничные и малощетинковые черви, пиявки, моллюски, личинки насекомых и др.

Фитобентос пресных вод представлен бактериями, диатомовыми и зелеными водорослями. Прибрежные растения располагаются от берега вглубь четко выраженными поясами. *Первый пояс* — полупогруженные растения (камышы, рогоз, осоки и тростники); *второй пояс* — погруженные растения с плавающими листьями (водокрас, кубышки, кувшинки, ряски). В *третьем поясе* преобладают растения — рдесты, элодея и др. (рис 5.7).

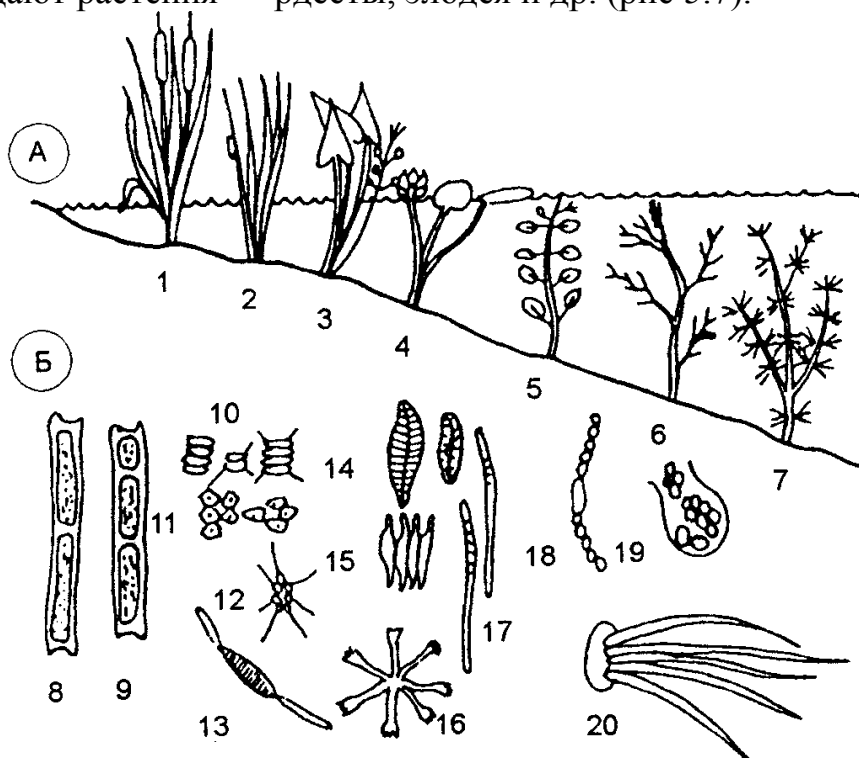


Рис. 5.7. Растения, укореняющиеся на дне (А):

1 — рогоз; 2 — ситник; 3 — стрелолист; 4 — кувшинка; 5, 6 — рдесты; 7 — хара. Свободно плавающие водоросли (Б): 8, 9 — нитчатые зеленые; 10-13 — зеленые; 14-17 — диатомеи; 18-20 — сине-зеленые

По образу жизни водные растения подразделяют на две основные экологические группы: *гидрофиты* — растения, погруженные в воду только нижней частью и обычно укореняющиеся в грунте, и *гидатофиты* — растения, которые полностью погружены в воду, а иногда и плавающие на поверхности или имеющие плавающие листья.

В жизни водных организмов большую роль играют вертикальное перемещение воды, плотность, температурный, световой, солевой, газовый (содержание кислорода и углекислого газа) режимы, концентрация водородных ионов (рН).

Температурный режим. Отличается в воде, во-первых, меньшим притоком тепла, во-вторых, большей стабильностью, чем на суше. Часть тепловой энергии, поступающей на поверхность воды, отражается, часть расходуется на испарение. Испарение воды с поверхности водоемов, при котором затрачивается около 2263х8Дж/г, препятствует перегреванию нижних слоев, а образование льда, при котором выделяется теплота плавления (333,48 Дж/г), замедляет их охлаждение.

Изменение температуры в текущих водах следует за ее изменениями в окружающем воздухе, отличаясь меньшей амплитудой.

В озерах и прудах умеренных широт термический режим определяется хорошо известным физическим явлением — вода обладает максимальной плотностью при 4°C. Вода в них четко делится на три слоя: верхний — *эпилимнион*, температура которого испытывает резкие сезонные колебания; переходный, слой температурного скачка, — *металимнион*, где отмечается резкий перепад температур; глубоководный (придонный) — *гиполимнион* доходящий до самого дна, где температура в течение года *изменяется* незначительно.

Летом наиболее теплые слои воды располагаются у поверхности, а холодные — у дна. Данный вид послойного распределения температур в водоеме носит название *прямой стратификации*. Зимой, с понижением температуры, происходит *обратная стратификация*. Поверхностный слой воды имеет температуру близкую к 0°C. На дне температура около 4°C, что соответствует максимальной ее плотности. Таким образом, с глубиной температура повышается. Это явление называют *температурной дихотомией*. Наблюдается в большинстве наших озер летом и зимой. В результате нарушается вертикальная циркуляция образуется плотностная стратификация воды, наступает период временного застоя — *стагнация* (рис. 5.8).

С дальнейшим повышением температуры верхние слои воды становятся все менее плотными и уже не опускаются — наступает летняя стагнация. '

Осенью поверхностные воды снова охлаждаются до 4°C и опускаются на дно, вызывая вторичное в году перемешивание масс с выравниванием температуры, т. е. наступлением осенней гомотермии

В морской среде также существует термическая стратификация

определяемая глубиной. В океанах выделяют следующие слои *Поверхностный* — воды подвержены действию ветра, и по аналогии с атмосферой этот слой называют *тропосферой* или морской *термосферой*. Суточные колебания температуры воды наблюдаются здесь примерно до 50-метровой глубины, а сезонные отмечаются и глубже. Толщина термосферы достигает 400 м. *Промежуточный* — представляет собой *постоянный термоклин*. Температура в нем в разных морях и океанах опускается до 1—3°C. Простирается примерно до глубины 1500 м. *Глубоководный* — характеризуется одинаковой температурой около 1—3°C, за исключением полярных районов, где температура близка к 0°C.

В целом же следует отметить, что амплитуда годовых колебаний температуры в верхних слоях океана не более 10–15 °C в континентальных водах 30—35°C.

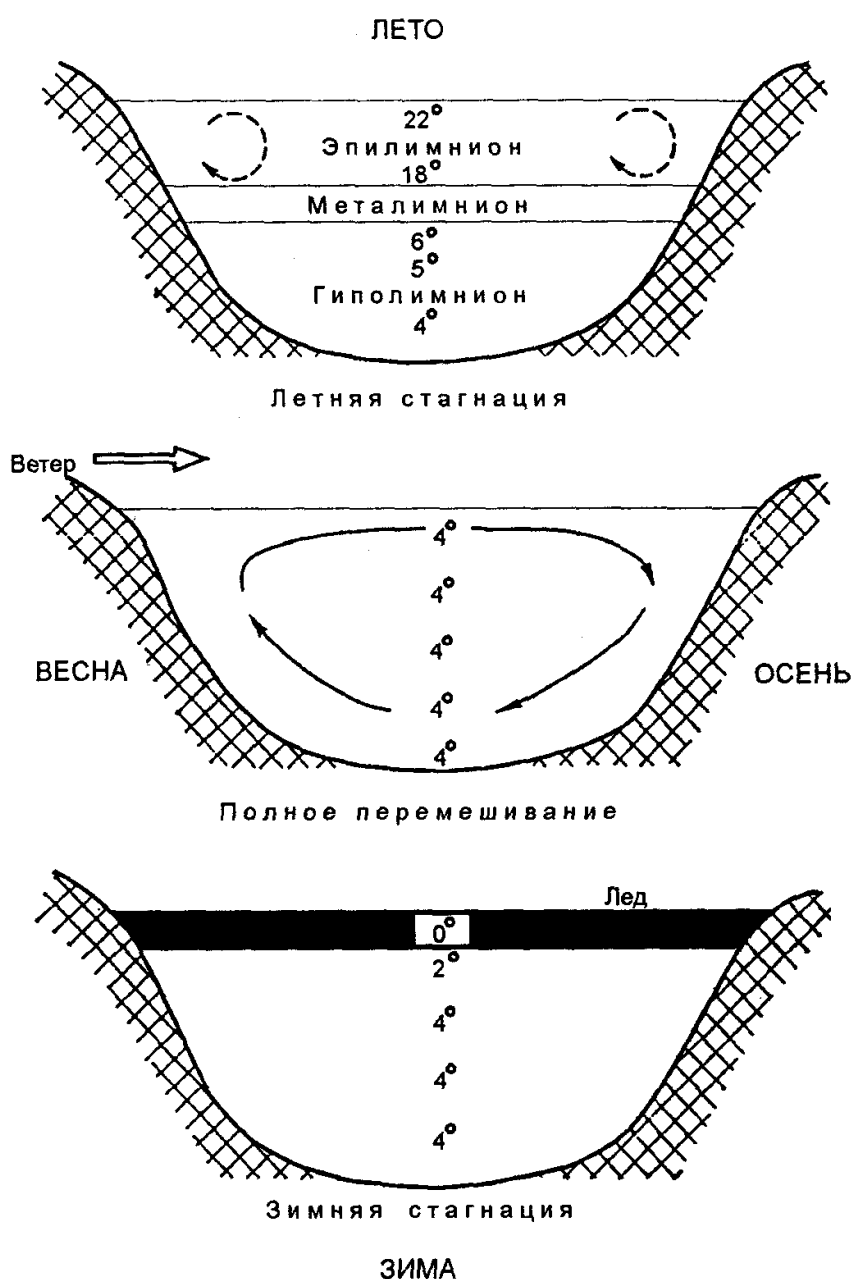


Рис. 5.8. Стратификация и перемешивание воды в озере
(по Э. Гюнтеру и др., 1982)

Глубокие слои воды отличаются постоянством температуры. В экваториальных водах среднегодовая температура поверхностных слоев составляет 26—27°C, в полярных — около 0°C и ниже. Исключением являются термальные источники, где температура поверхностного слоя достигает 85—93°C.

В воде как среде жизни, с одной стороны, существует довольно значительное разнообразие температурных условий, а с другой — термодинамические особенности водной среды, такие, как высокая удельная теплоемкость, большая теплопроводность и расширение при замерзании (при этом лед образуется лишь сверху, а основная же толща воды не промерзает), создают благоприятные условия для живых организмов.

Так, для зимовки многолетних гидрофитов в реках и озерах большое значение имеет вертикальное распределение температур подо льдом. Наиболее плотная и наименее холодная вода с температурой 4°C располагается в придонном слое, куда опускаются зимующие почки (турионы) роголистника, пузырчатки, во-докраса и др. (рис. 5.9), а также целые облиственные растения, такие, как ряска, элодея.

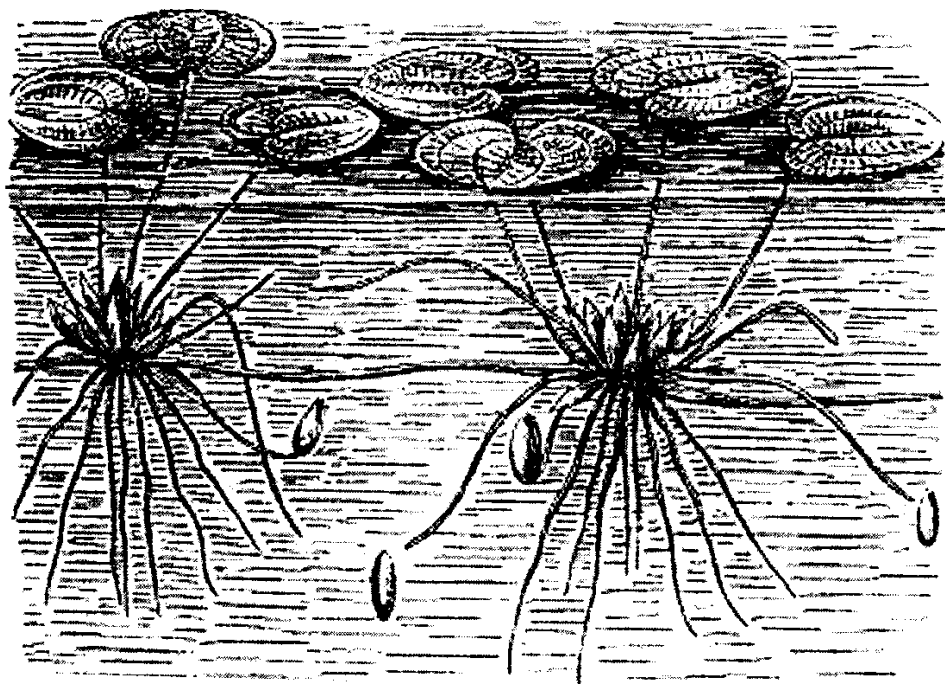


Рис. 5.9. Водокрас (*Hydrocharitaceae morsus ranae*) осенью.
Видны зимующие почки, опускающиеся на дно
(из Т. К. Горышиной, 1979)

Утвердилось мнение, что погружение связано с накоплением крахмала и утяжелением растений. К весне крахмал превращается в растворимые сахара и жиры, что делает почки легче и обеспечивает возможность их всплытия.

Организмы в водоемах умеренных широт хорошо приспособлены к сезонным вертикальным перемещениям слоев воды, к весенней и осенней гомотермии, к летней и зимней стагнации. Поскольку температурный режим водоемов характеризуется большой стабильностью, среди гидробионтов в большей мере, чем среди организмов суши, распространена стенотермность.

Эвритермные виды встречаются главным образом в мелких континентальных водоемах и на литорали морей высоких и умеренных широт, где значительны суточные и сезонные колебания.

Плотность воды. Вода отличается от воздуха большей плотностью. В этом отношении она в 800 раз превосходит воздушную среду. Плотность дистиллированной воды при температуре 4 °С равна 1 г/см³. Плотность же природных вод, содержащих растворенные соли, может быть больше: до 1,35 г/см³. В среднем в водной толще на каждые 10 м глубины давление возрастает на 1 атмосферу. Высокая плотность воды отражается на строении тела гидрофитов. Так, если у наземных растений хорошо развиты механические ткани, обеспечивающие прочность стволов и стеблей, расположение механических и проводящих тканей по периферии стебля создает конструкцию «трубы», хорошо противостоящую изломам и изгибам, то у гидрофитов механические ткани сильно редуцированы, так как растения поддерживаются самой водой. Механические элементы и проводящие пучки довольно часто сосредоточены в центре стебля или листового черешка, что придает способность изгибаться при движениях воды.

Погруженные гидрофиты обладают хорошей плавучестью, создаваемой специальными приспособлениями (воздушные мешки, вздутия). Так, листья лягушатника лежат на поверхности воды и под каждым листом имеют наполненный воздухом плавучий пузырь. Как крошечный спасательный жилет, пузырь позволяет листу плавать на поверхности воды. Воздушные камеры в стебле поддерживают растение в вертикальном положении и доставляют кислород корням.

Плавучесть также повышается с увеличением поверхности тела. Это хорошо видно у микроскопических планктонных водорослей. Различные выросты тела помогают им свободно «парить» в толще воды.

Организмы в водной среде распределены по всей ее толще. Например, в океанических впадинах животные обнаружены на глубинах свыше 10 000 м, переносят давление от нескольких до сотен атмосфер. Так, пресноводные обитатели (жуки-плавунцы, туфельки, сувойки и др.) в опытах выдерживают до 600 атмосфер. Голотурии рода *Elpidia*, черви *Priapulid* *caudatus* обитают от прибрежной зоны до ультраабиссали. Вместе с тем следует отметить, что многие обитатели морей и океанов относительно стенобатны и приурочены к определенным глубинам. Это относится в первую очередь к мелководным и глубоководным видам. Только на литорали обитают кольчатый червь пескожил *Arenicola*, моллюски — морские блюдечки (*Patella*). На больших глубинах при давлении не менее 400-500 атмосфер встречаются рыбы из группы удильщиков, головоногие моллюски, ракообразные, морские звезды, погонофоры и другие.

Плотность воды обеспечивает возможность животным организмам

опираться на нее, что особенно важно для бесскелетных форм. Опорность среды служит условием парения в воде. Именно к этому образу жизни приспособлены многие гидробионты.

Световой режим. На водные организмы большое влияние оказывают световой режим и прозрачность воды. Интенсивность света в воде сильно ослаблена (рис. 5.10), так как часть падающей радиации отражается от поверхности воды, другая поглощается ее толщей. Ослабление света связано с прозрачностью воды. В океанах, например, с большой прозрачностью на глубину 140 м еще падает около 1 % радиации, а в небольших озерах с несколько замкнутой водой уже на глубину 2 м — всего лишь десятые доли процента.

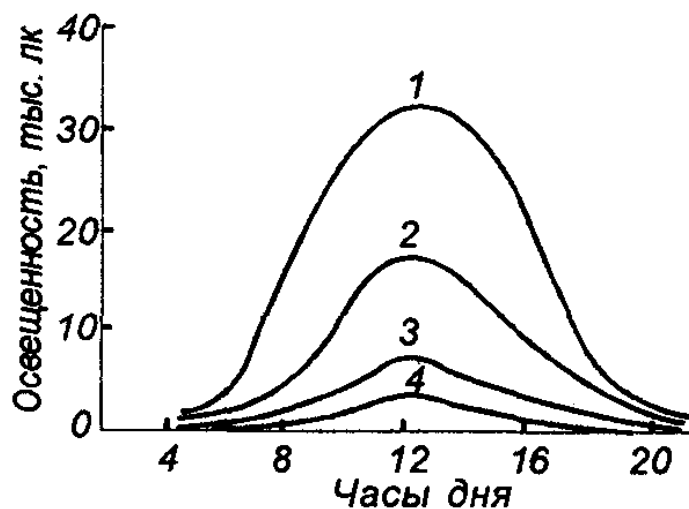


Рис. 5.10. Освещенность в воде в течение дня.
Цимлянское водохранилище (по А. А. Потапову, 1956)
Глубина: 1 — на поверхности; 2—0,5 м; 3—1,5 м; 4—2 м

В связи с тем что лучи разных участков солнечного спектра неодинаково поглощаются водой, с глубиной изменяется и спектральный состав света, ослабевают красные лучи. Сине-зеленые лучи проникают на значительные глубины. Сгущающиеся с глубиной сумерки в океане имеют вначале зеленый, затем голубой, синий, сине-фиолетовый цвет, сменяясь в дальнейшем постоянным мраком. Соответственно сменяют друг друга с глубиной и живые организмы.

Так, растения, живущие на поверхности воды, не испытывают недостатка света, а погруженные и особенно глубоководные относят к «теновой флоре». Им приходится адаптироваться не только к недостатку света, но и к изменению его состава выработкой дополнительных пигментов. Это прослеживается на известной закономерности окраски у водорослей, обитающих на разных глубинах. В мелководных зонах, где растениям еще доступны красные лучи, которые в наибольшей степени поглощаются хлорофиллом, как правило, преобладают зеленые водоросли. В более глубоких зонах встречаются бурые

водоросли, имеющие кроме хлорофилла бурые пигменты фикофеин, фукоксантин и др. Еще глубже обитают красные водоросли, содержащие пигмент фико-эритрин. Здесь четко прослеживается способность к улавливанию солнечных лучей с разной длиной волны. Данное явление получило название *хроматической адаптации*.

Глубоководные виды имеют ряд физических черт, свойственных теневым растениям. Среди них следует отметить низкую точку компенсации фотосинтеза (30-100 лк), «теновый характер» световой кривой фотосинтеза с низким плато насыщения, у водорослей, например, крупные размеры хроматофоров. Тогда как у поверхности и плавающих форм эти кривые более «светлого» типа.

Для использования слабого света в процессе фотосинтеза требуется увеличенная площадь ассимилирующих органов. Так, стрелолист (*Sagittaria sagittifolia*) формирует разные по форме листья при развитии на суше и в воде.

В наследственной программе закодирована возможность развития в том и другом направлении. «Пусковым механизмом» для развития «водных» форм листьев служит затенение, а не непосредственное действие воды.

Нередко листья водных растений, погруженные в воду, сильно рассечены на узкие нитевидные доли, как, например, у роголистника, урути, пузырчаток, или имеют тонкую просвечивающую пластинку — подводные листья кубышек, кувшинок, листья погруженных рдестов.

Данные черты характерны и для водорослей, таких, как нитчатые водоросли, рассеченные талломы харовых, тонкие прозрачные талломы многих глубоководных видов. Это дает возможность гидрофитам увеличить отношение площади тела к объему, а следовательно, развивать большую поверхность при сравнительно небольших затратах органической массы.

У частично погруженных в воду растений хорошо выражена *гетерофилия*, т. е. различие строения надводных и подводных листьев у одного и того же растения. Это хорошо просматривается у водного лютика разнолистного (рис. 5.11) Надводные имеют черты, обычные для листьев наземных растений (дорзовентральное строение, хорошо развитые покровные ткани и устьичный аппарат), подводные — очень тонкие или рассеченные листовые пластинки. Гетерофилия отмечена также у кувшинок и кубышек, стрелолиста и других видов.

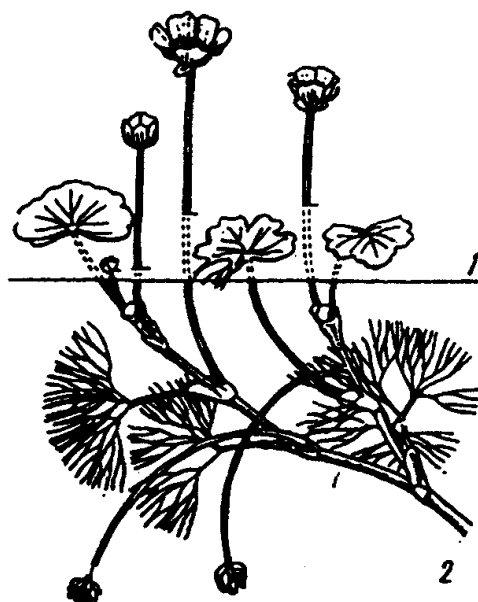


Рис. 5.11. Гетерофилия у водного лютика разнолистного
Ranunculus diversifolius (из Т. Г. Горышиной, 1979)
 Листья: 1 — надводные; 2 — подводные

Показательным примером является поручейник (*Simn latifolium*), на стебле которого можно видеть несколько форм листьев, отражающих все переходы от типично наземных до типично водных.

Глубина водной среды оказывает влияние и на животных, их окраску, видовой состав и т. д. Например, в озерной экосистеме основная жизнь сосредоточена в слое воды, куда проникает количество света, достаточное для фотосинтеза. Нижняя граница данного слоя носит название компенсационного уровня. Выше этой глубины растения выделяют больше кислорода, чем потребляют, то избыточный кислород могут использовать другие организмы. Ниже этой глубины фотосинтез не может обеспечить дыхание, в связи с этим организмам доступен только кислород, который поступает с водой из более поверхностных слоев озера.

В светлых, поверхностных слоях воды обитают ярко и разнообразно окрашенные животные, глубоководные же виды обычно лишены пигментов. В сумеречной зоне океана обитают животные, окрашенные в цвета с красноватым оттенком, что помогает им скрываться от врагов, так как красный цвет в сине-фиолетовых лучах воспринимается как черный. Красная окраска характерна для таких животных сумеречной зоны, как морской окунь, красный коралл, различные ракообразные и др.

Поглощение света в воде тем сильнее, чем меньше ее прозрачность, что обусловлено наличием в ней частиц минеральных веществ (глина, ил). Уменьшается прозрачность воды и при бурном разрастании водной растительности в летний период или при массовом размножении мелких организмов, находящихся в поверхностных слоях во взвешенном состоянии. Прозрачность характеризуется предельной глубиной, где еще виден специально опускаемый диск Секки (белый диск диаметром 20 см). В Саргассовом море

(самые прозрачные воды) диск Секки виден до глубины 66,5 м, в Тихом океане — до 59, в Индийском — до 50, в мелких морях — до 5-15 м. Прозрачность рек не превышает 1-1,5 м, а в среднеазиатских реках Амударье и Сырдарье — нескольких сантиметров. Отсюда и границы зон фотосинтеза сильно колеблются в разных водоемах. В самых чистых водах зона фотосинтеза, или эуфотическая зона, достигает глубины не выше 200 м, сумеречная (дисфотическая) простирается до 1000-1500 м, а глубже, в афотическую зону, солнечный свет совсем не проникает.

Световой день в воде значительно короче (особенно в глубоких слоях), чем на суше. Количество света в верхних слоях водоемов меняется и от широты местности, и от времени года. Так, длинные полярные ночи сильно ограничивают время, пригодное для фотосинтеза в арктических и приантарктических бассейнах, а ледовый покров затрудняет доступ света зимой во все замерзающие водоемы.

Солевой режим. В жизни водных организмов важную роль играет соленость воды или солевой режим. Химический состав вод формируется под влиянием естественно-исторических и геологических условий, а также при антропогенном воздействии. Содержание химических соединений (солей) в воде определяет ее соленость и выражается в граммах на литр или в *промиле* (‰). По общей минерализации воды можно разделить на пресные с содержанием солей до 1 г/л, солоноватые (1-25 г/л), морской солености (26-50 г/л) и рассолы (более 50 г/л). Наиболее важными из растворенных веществ в воде являются карбонаты, сульфаты и хлориды (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Состав основных солей в различных водоемах (по Р. Дажо, 1975)

Водоемы	Карбонаты	Сульфаты	Хлориды	Соленость, г/л
Пресные воды	79,9	13,2	6,9	—
Открытый океан	0,4	10,8	88,8	35
Черное море	1,59	9,69	80,71	19
Каспийское море	1,24	30,5	63,36	12,86
Аральское море	0,93	38,71	58,59	11,28

Среди пресных вод много почти чистых, но много и таких, которые содержат до 0,5 г растворенных веществ на литр. Катионы по их содержанию в пресной воде располагаются следующим образом: кальций—64%, магний—17%, натрий—16%, калий—3%. Это средние значения, а в каждом конкретном случае возможны колебания, иногда значительные.

Важным элементом в пресных водах является содержание кальция. Кальций может выступать в роли ограничивающего фактора. Различают воды «мягкие», бедные кальцием (менее 9 мг на 1 л), и воды «жесткие», содержание его в большом количестве (более 25 мг на 1 л).

В морской воде среднее содержание растворенных солей составляет 35 г/л, в окраинных морях значительно ниже. В морской воде обнаружены 13 металлоидов и не менее 40 металлов. По степени значимости первое место

занимает поваренная соль, затем хлористый барий, сернокислый магний и хлористый калий.

Большинство водных обитателей *пойкиломотичны*. Осмотическое давление в их теле зависит от солености окружающей среды. Пресноводные животные и растения обитают в среде, где концентрация растворенных веществ ниже, чем в жидкостях тела и тканей. Из-за разницы в осмотическом давлении вне и внутри тела в организм постоянно проникает вода, вследствие чего гидробионты пресных вод вынуждены интенсивно удалять ее. У них хорошо выражены процессы осморегуляции. У простейших это достигается работой выделительных вакуолей, у многоклеточных — удалением воды через выделительную систему. Некоторые инфузории каждые 2—2,5 мин выделяют количество воды, равное объему тела.

С повышением солености работа вакуолей замедляется, а при концентрации солей 17,5% перестает работать, так как разница осмотического давления между клетками и внешней средой исчезает.

Концентрация солей в жидкостях тела и тканей многих морских организмов изотонична концентрации растворенных солей в окружающей воде. В связи с этим осморегуляторные функции у них развиты слабее, чем у пресноводных. Осморегуляция является одной из причин того, что многие морские растения и животные не сумели заселить пресные водоемы и оказались типичными морскими жителями: кишечно-полостные (Coelenterata), иглокожие (Echinodermata), губки (Spongia), оболочники (Tunicata), погонофоры (Pogonophora). С другой стороны, в морях и океанах практически не обитают насекомые, тогда как пресноводные бассейны обильно ими заселены. Типично морские и типично пресноводные организмы не переносят значительных изменений солености и являются *стеногалинными*. *Эвригалинных* организмов, в частности животных, пресноводного и морского происхождения не так много. Они встречаются, нередко в больших количествах, в солоноватых водах. Это такие, как лещ (*Abramis brama*), пресноводный судак (*Stizostedion lucioperca*), щука (*Esox lucios*), из морских — семейство кефалевых (Mugilidae).

Обитание растений в водной среде, помимо перечисленных выше особенностей, накладывает отпечаток и на другие стороны жизнедеятельности, особенно на водный режим у растений, в прямом смысле окруженных водой. У таких растений транспирации нет, а следовательно, и нет «верхнего двигателя», поддерживающего ток воды в растении. И вместе с тем ток, доставляющий к тканям питательные вещества, существует (правда, значительно слабее, чем у сухопутных растений), с ясно выраженной суточной периодичностью: днем больше, ночью отсутствует. Активная роль в его поддержании принадлежит корневому давлению (у прикрепленных видов) и деятельности специальных клеток, выделяющих воду, — водяных устьиц или гидатод.

В пресных водах распространены растения, укрепленные на дне водоема. Часто их фотосинтетическая поверхность располагается над водой. К ним относятся камыши (*Scirpus*), кувшинки (*Nymphaea*), кубышки (*Nyphar*), рогозы (*Typha*), стрелолист (*Sagittaria*). У других фотосинтезирующие органы погружены в воду. Это рдесты (*Potamogeton*), уруть (*Myriophyllum*), элодея

(Elodea). Отдельные виды высших растений пресных вод лишены корней и свободно плавают или обрастают подводные предметы, водоросли, которые прикреплены к грунту.

Газовый режим. Основными газами в водной среде являются кислород и углекислый газ. Остальные, такие, как сероводород или метан, имеют второстепенное значение.

Кислород для водной среды — важнейший экологический фактор. Он поступает в воду из воздуха и выделяется растениями при фотосинтезе. Коэффициент диффузии кислорода в воде примерно в 320 тыс. раз ниже, чем в воздухе, а общее его содержание в верхних слоях воды составляет 6—8 мл/л, или в 21 раз ниже, чем в атмосфере. Содержание кислорода в воде обратно пропорционально температуре. С повышением температуры и солености воды концентрация в ней кислорода понижается. В слоях, сильно заселенных животными и бактериями, может создаваться дефицит кислорода из-за усиленного его потребления. Так, в Мировом океане богатые жизнью глубины от 50 до 1000 м характеризуются резким ухудшением аэрации. Она в 7—10 раз ниже, чем в поверхностных водах, населенных фитопланктоном. Около дна водоемов условия могут быть близкими к анаэробным.

При застойном режиме в небольших водоемах вода также резко обедняется кислородом. Дефицит его может возникнуть и зимой подо льдом. При концентрации ниже 0,3—3,5 мл/л жизнь аэробов в воде невозможна. Содержание кислорода в условиях водоема оказывается лимитирующим фактором (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Потребность в кислороде у различных видов пресноводных рыб

Потребность в кислороде (см ² /л)	Виды рыб
7—11	Виды рыб холодных и быстрых вод: форель (<i>Saltrrio frutta</i>), гольян (<i>Phoxinus phoxinus</i>), подкаменщик (<i>Cottus gobio</i>)
5—6	Хариус (<i>Thymallus thymallus</i>), пескарь обыкновенный (<i>Gobio gobio</i>), голавль (<i>Zeuciscus ; cephalus</i>), налим (<i>Lota lota</i>)
4 0,5	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i>), ерш (<i>Acerina cerina</i>) Линь (<i>Tinea tinea</i>)

Среди водных обитателей значительно количество видов, способных переносить широкие колебания содержания кислорода в воде, близкие к его отсутствию. Это так называемые *эвриоксибионты*. К ним относятся пресноводные олигохеты (*Tubifex tubifex*), брюхоногие моллюски (*Viviparus viviparus*). Очень слабое насыщение воды кислородом из рыб могут выдерживать сазан, линь, караси. Однако многие виды являются *стеноксибионтными*, т. е. могут существовать только при достаточно высоком насыщении воды кислородом, например радужная форель, кумжа, гольян и др. Многие виды живых организмов способны при недостатке кислорода впадать в неактивное состояние, так называемый *аноксибиоз*, и таким образом переживать неблагоприятный период.

Дыхание гидробионтов осуществляется как через поверхность тела, так и

через специализированные органы — жабры, легкие, трахеи. Нередко покровы тела могут служить дополнительным органом дыхания. У отдельных видов встречается комбинирование водного и воздушного дыхания, например, двоякодышащие рыбы, сифонофоры, дискофанты, многие легочные моллюски, ракообразные *Yammarus lacustris* и др. Вторичноводные животные сохраняют обычно атмосферный тип дыхания как энергетически более выгодный, и поэтому нуждаются в контактах с воздушной средой. К ним относятся ластоногие, китообразные, водяные жуки, личинки комаров и т. д.

Углекислый газ. В водной среде живые организмы кроме недостатка света, кислорода могут испытывать недостаток доступной CO_2 , например растения для фотосинтеза. Углекислота поступает в воду в результате растворения CO_2 содержащегося в воздухе, дыхания водных организмов, разложения органических остатков и высвобождения из карбонатов. Содержание углекислого газа в воде колеблется в пределах 0,2—0,5 мл/л, или в 700 раз больше, чем в атмосфере. CO_2 растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода. Морская вода является главным резервуаром углекислого газа, так как содержит от 40 до 50 см³ газа на литр в свободной или связанной форме, что в 150 раз превышает его концентрацию в атмосфере.

Углекислый газ, содержащийся в воде, принимает участие в формировании известковых скелетных образований беспозвоночных животных и обеспечивает фотосинтез водных растений. При интенсивном фотосинтезе растений идет усиленное потребление углекислого газа (0,2—0,3 мл/л в час), что приводит к ее дефициту. На увеличение содержания CO_2 в воде гидрофиты реагируют, повышая фотосинтез.

Дополнительным источником CO_2 для фотосинтеза водных растений является также углекислота, которая выделяется при разложении двууглекислых солей и их переходе в углекислые:



Малорастворимые карбонаты, которые при этом образуются, оседают на поверхность листьев в виде известкового налета или корочки, хорошо заметной при обсыхании многих водных растений.

Концентрация водородных ионов (pH) нередко сказывается на распределении водных организмов. Пресноводные бассейны с pH 3,7—4,7 считаются кислыми, 6,95—7,3 нейтральными, с pH более 7,8 — щелочными. В пресных водоемах pH испытывает значительные колебания, нередко в течение суток. Морская вода более щелочная, и pH ее меньше изменяется, чем пресной. С глубиной pH уменьшается.

Из растений при pH меньше 7,5 растут полушник (*Isoetes*), ежеголовник (*Sparganium*). В щелочной среде (pH 7,7—8,8) распространены многие виды рдестов, элодея, при pH 8,4—9 сильного развития достигает *Typha angustifolia*. Кислые воды торфяников способствуют развитию сфагновых мхов.

Большинство пресноводных рыб выдерживает pH от 5 до 9. Если pH меньше 5, наблюдается массовая гибель рыб, а выше 10 — погибают все рыбы и другие животные.

В озерах с кислой средой часто встречаются личинки двукрылых из рода

Chaoborus, а в кислых водах болот распространены раковинные корненожки (Testaceae), отсутствуют пластинчато-жаберные моллюски из рода беззубок (Unio), редко встречаются другие моллюски.

Экологическая пластичность организмов водной среды. Вода является более стабильной средой, и абиотические факторы претерпевают сравнительно незначительные колебания, а отсюда водные организмы обладают по сравнению с наземными меньшей экологической пластичностью. Пресноводные растения и животные более пластичны, чем морские, так как пресная вода как среда жизни более изменчива. Оценивают широту экологической пластичности гидробионтов не только в целом к комплексу факторов (эври- и стенобионтность), но и по отдельности.

Так, установлено, что прибрежные растения и животные в отличие от обитателей открытых зон главным образом эвритермные и эвригалинные организмы, вследствие того, что температурные условия и солевой режим вблизи берега довольно изменчивы — прогреваемость солнцем и относительно интенсивное охлаждение, опреснение притоком воды из ручьев и рек, в частности в период дождей, и т. д. В качестве примера можно привести лотос, который относится к типичным стенотермным видам, произрастает только в мелких, хорошо прогреваемых водоемах. Обитатели поверхностных слоев по сравнению с глубоководными формами по вышеуказанным причинам оказываются более эвритермными и эвригалинными.

Экологическая пластичность является важным регулятором расселения организмов. Доказано, что гидробионты с высокой экологической пластичностью распространены широко, например, элодея. Противоположный же пример — рачок артемия (*Artemia solina*), живущий в небольших водоемах с очень соленой водой, является типичным стеногалинным представителем с узкой экологической пластичностью. По отношению же к другим факторам он обладает значительной пластичностью и в соленых водоемах встречается довольно часто.

Экологическая пластичность зависит от возраста и фазы развития организма. Например, морской брюхоногий моллюск *Littorina* во взрослом состоянии при отливах ежедневно длительное время обходится без воды, однако его личинки ведут планктонный образ жизни и не переносят высыхания.

Особенности адаптации растений к водной среде. Водные растения имеют значительные отличия от наземных растительных организмов. Так, способность водных растений поглощать влагу и минеральные соли непосредственно из окружающей среды отражается на их морфологической и физиологической организации. Характерным для водных растений является слабое развитие проводящей ткани и корневой системы. Корневая система служит главным образом для прикрепления к подводному субстрату и не выполняет функции минерального питания и водоснабжения, как у наземных растений. Питание же водных растений осуществляется всей поверхностью их тела.

Значительная плотность воды дает возможность обитания растений во всей ее толще. У низших растений, заселяющих различные слои и ведущих

плавающий образ жизни, для этого имеются специальные придатки, которые увеличивают их плавучесть позволяют им удерживаться во взвешенном состоянии. Высшие гидрофиты имеют слабо развитую механическую ткань. Как *упі* отмечалось выше, в их листьях, стеблях, корнях располагаются воздухоносные межклеточные полости, увеличивающие легкость и плавучесть взвешенных в воде и плавающих на поверхности органов, что также способствует смыванию внутренних клеток водой с растворенными в ней солями и газами. Гидрофиты отличаются большой поверхностью листьев при малом общем объеме растения, что обеспечивает им интенсивный газообмен при недостатке растворенного в воде кислорода и других газов.

У ряда водных организмов развита разнолистность, или *гетерофилия*. Так, у сальвинии (*Salvinia*) погруженные листья обеспечивают минеральное питание, а плавающие — органическое.

Важной особенностью адаптации растений к обитанию в водной среде является и то, что листья, погруженные в воду, как правило, очень тонкие. Часто хлорофилл в них располагается в клетках эпидермиса, что способствует усилению интенсивности фотосинтеза при слабом освещении. Такие анатомо-морфологические особенности наиболее четко выражены у водяных мхов (*Riccia*, *Fontinalis*), валиснерии (*Vallisneria spiralis*), рдестов (*Potamogeton*).

От вымывания у водных растений из клеток минеральных солей или выщелачивания защитой является выделение специальными клетками слизи и образование эндодермы из более толстостенных клеток в виде кольца.

Относительно низкая температура водной среды обуславливает отмирание вегетирующих частей у погруженных в воду растений после образования зимних почек и замену летних тонких нежных листьев более жесткими и короткими зимними. Низкая температура воды отрицательно сказывается на генеративных органах водных растений, а высокая ее плотность затрудняет перенос пыльцы. В связи с этим водные растения интенсивно размножаются вегетативным путем. Большинство плавающих на поверхности и погруженных растений выносят цветоносные стебли в воздушную среду и размножаются половым путем. Пыльца разносится ветром и поверхностными течениями. Плоды и семена, которые образуются, также распространяются поверхностными течениями. Это явление носит название *гидрохории*. К гидрохорным относятся не только водные, а также многие прибрежные растения. Их плоды имеют высокую плавучесть, длительное время находятся в воде и не теряют при этом всхожесть. Например, водой переносятся плоды и семена стрелолиста (*Sagittaria sagittifolia*), сусака (*Butomus umbellatus*), частухи (*Alisma plantago-aquatica*). Плоды многих осок (*Carex*) заключены в своеобразные мешочки с воздухом и разносятся водными течениями. Таким же образом расселился сорняк гуаи (*Sorghum halepense*) вдоль реки Вахт по каналам.

Особенности адаптации животных к водной среде. У животных, обитающих в водной среде, по сравнению с растениями адаптивные особенности более многообразны, к ним относятся такие, как *анатомо-морфологические, поведенческие* и др.

Животные, обитающие в толще воды, обладают в первую очередь приспособлениями, которые увеличивают их плавучесть и позволяют противостоять движению воды, течениям. Данные же организмы вырабатывают приспособления, которые препятствуют поднятию их в толщу воды или уменьшают плавучесть, что позволяет удержаться на дне, включая и быстро текущие воды.

У мелких форм, живущих в толще воды, отмечается редукция скелетных образований. Так, у простейших (*Radiolaria*, *Rhizopoda*) раковины обладают пористостью, кремневые иглы скелета внутри полые. Удельная плотность гребневиков (*Ctenophora*), медуз (*Scyphozoa*) уменьшается благодаря наличию воды в тканях. Скопление капелек жира в теле (ночесветки — *Noctiluca*, радиолярии — *Radiolaria*) способствует увеличению плавучести. Крупные скопления жира наблюдаются у некоторых ракообразных (*Cladocera*, *Copepoda*), рыб и китообразных. Удельную плотность тела снижают и тем самым повышают плавучесть плавательные пузыри, наполненные газом, которые имеют многие рыбы. У сифонофор (*Physalia*, *Velella*) развиты мощные воздухоносные полости.

Для животных, пассивно плавающих в толще воды, характерно не только уменьшение массы, но и увеличение удельной поверхности тела. Это связано с тем, что чем больше вязкость среды и выше удельная поверхность тела организма, тем он медленнее погружается в воду. У животных уплощается тело, на нем образуются шипы, выросты, придатки, например у жгутиковых (*Leptodiscus*, *Craspeditella*), радиолярий (*Aulacantha*, *Chalengeridae*) и др.

Большая группа животных, обитающих в пресной воде, при передвижении использует поверхностное натяжение воды (поверхностную пленку). По поверхности воды свободно бегают клопы водомерки (*Gyrinidae*, *Veliidae*), жуки вертячки (*Gerridae*) и др. Членистоногое, касающееся воды окончанием своих придатков, покрытых водоотталкивающими волосками, вызывает деформацию ее поверхности с образованием вогнутого мениска. Когда подъемная сила (F), направленная вверх, больше массы животного, последнее и будет удерживаться на воде благодаря поверхностному натяжению.

Таким образом, жизнь на поверхности воды возможна для сравнительно мелких животных, так как масса растет пропорционально кубу размера, а поверхностное натяжение увеличивается как линейная величина.

Активное плавание у животных осуществляется с помощью ресничек, жгутиков, изгибания тела, реактивным способом за счет энергии выбрасываемой струи воды. Наибольшего совершенства реактивный способ передвижения достигу головоногих моллюсков. Так, некоторые кальмары развивают скорость при выбрасывании воды до 40—50 км/ч (рис. 5.12).

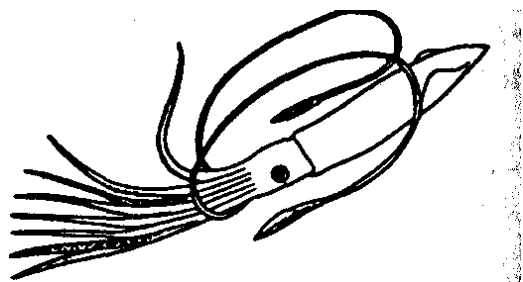


Рис. 5.12. Кальмар

У крупных животных нередко имеются специализированные конечности (плавники, лапы), тело их обтекаемой формы и покрыто слизью.

Только в водной среде встречаются неподвижные, ведущие прикрепленный образ жизни, животные. Это такие, как гидроиды (Hydroidea) и коралловые полипы (Anthozoa), морские лилии (Crinoidea), двустворчатые (Bivalvia) и др. Для них характерны своеобразная форма тела, незначительная плавучесть (плотность тела больше плотности воды) и специальные приспособления для прикрепления к субстрату.

Водные животные большей частью пойкилотермны. У гомойотермных же, например, млекопитающих (китообразные, ластоногие) образуется значительный слой подкожного жира, который выполняет теплоизоляционную функцию.

Глубоководные животные отличаются специфическими чертами организации: исчезновение или слабое развитие известкового скелета, увеличение размеров тела, нередко — редукция органов зрения, усиление развития осязательных рецепторов и т. д.

Осмотическое давление и ионное состояние растворов в теле животных обеспечивается сложными механизмами водно-солевого обмена. Наиболее распространенным способом поддержания постоянного осмотического давления является регулярное удаление поступающей в организм воды с помощью пульсирующих вакуолей и органов выделения. Так, пресноводные рыбы избыток воды удаляют усиленной работой выделительной системы, а соли поглощают через жаберные лепестки. Морские же рыбы вынуждены пополнять запасы воды и поэтому пьют морскую воду, а излишки поступающих с водой солей выводят из организма через жаберные лепестки (рис. 5.13).

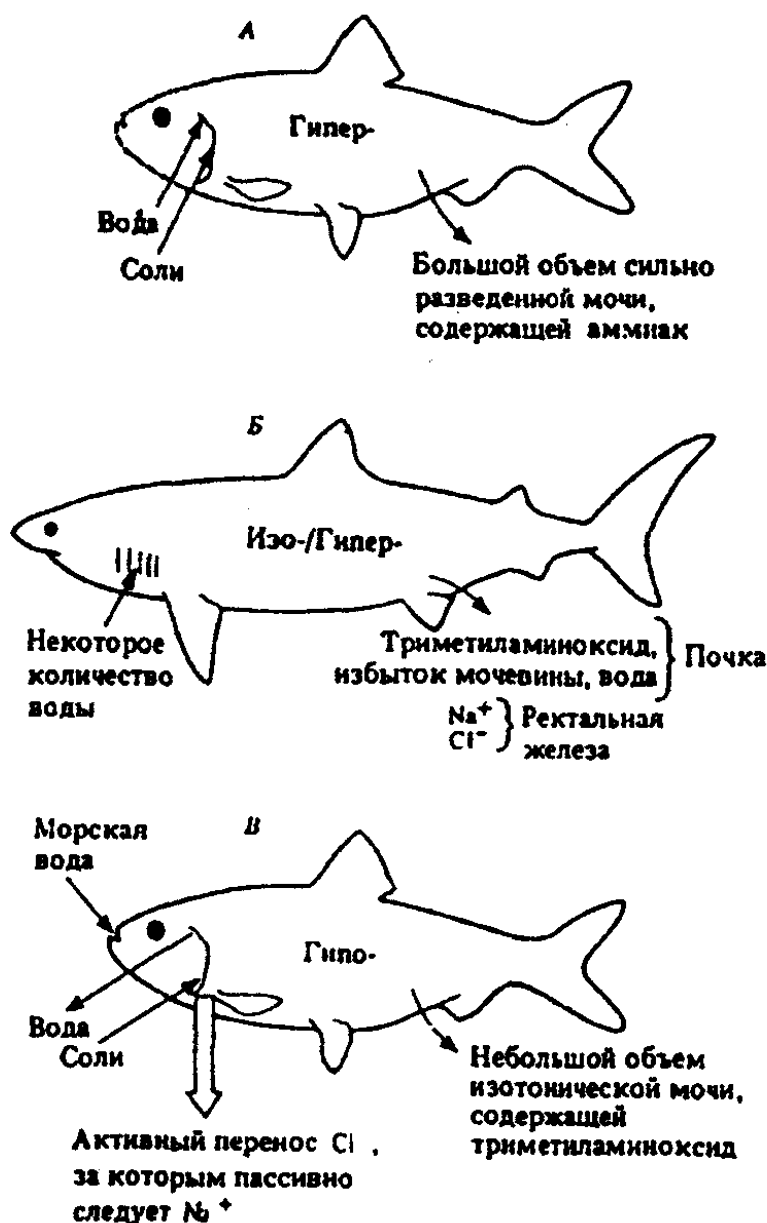


Рис. 5.13. Экскреция и осморегуляция у пресноводных костистых рыб (А), пластинчатожаберных (Б) и морских костистых рыб (В)

Сокращения гипо-, изо- и гипер- указывают тоничность внутренней среды по отношению к внешней (из Н. Грина и др., 1993)

Целый ряд гидробионтов обладают особым характером питания — это отцеживание или осаждение взвешенных в воде частиц органического происхождения, многочисленных мелких организмов. Этот способ питания не требует больших затрат энергии на поиски добычи и характерен для пластинчатожаберных моллюсков, сидячих иглокожих, асцидий, планктонных рачков и др. Животные-фильтраторы выполняют важную роль в биологической очистке водоемов.

Пресноводные дафнии, циклопы, а также самый массовый в океане рачок *Calanus finmarchicus* отфильтровывают в сутки до 1,5 л воды на особь. Мидии, обитающие на площади 1 м², могут прогонять через мантийную полость 150—

280 м³ воды за сутки, осаждая взвешенные частицы.

В связи с быстрым затуханием световых лучей в воде жизнь в постоянных сумерках или во мраке сильно ограничивает возможности зрительной ориентации гидробионтов. Звук распространяется в воде быстрее, чем в воздухе, и ориентация на звук у гидробионтов развита лучше зрительной. Отдельные виды улавливают даже инфразвуки. Звуковая сигнализация служит больше всего для внутривидовых взаимоотношений: ориентации в стае, привлечения особей другого пола и т. д. Китообразные, например, отыскивают пищу и ориентируются при помощи эхолокации — восприятия отраженных звуковых волн. Принцип локатора дельфина заключается в излучении звуковых волн, которые распространяются перед плывущим животным. Встречая препятствие, например рыбу, звуковые волны отражаются и возвращаются к дельфину, который слышит возникающее эхо и таким образом обнаруживает предмет, вызывающий отражение звука.

Известно около 300 видов рыб, которые способны генерировать электричество и использовать его для ориентации и сигнализации. Ряд рыб (электрический скат, электрический угорь и др.) используют электрические поля для защиты и нападения.

Водным организмам свойствен древний способ ориентации — восприятие химизма среды. Хеморецепторы многих гидробионтов (лососи, угри и др.) обладают чрезвычайной чувствительностью. В тысячекилометровых миграциях они с поразительной точностью находят места нерестилищ и нагула.

Смена условий в водной среде вызывает и определенные поведенческие реакции организмов. С изменением освещенности, температуры, солености, газового режима и других факторов связаны вертикальные (опускание вглубь, поднятие к поверхности) и горизонтальные (нерестовые, зимовальные и нагульные) миграции животных. В морях и океанах в вертикальных миграциях принимают участие миллионы тонн гидробионтов, а при горизонтальных миграциях водные животные могут преодолевать сотни и тысячи километров.

На Земле существует много временных, неглубоких водоемов, возникающих после разлива рек, сильных дождей, таяния снега и т. д. Общими особенностями обитателей пересыхающих водоемов является способность давать за короткие сроки многочисленное потомство и переносить длительные периоды без воды, переходя в состояние пониженной жизнедеятельности — *гипобиоза*.

5.2. Наземно-воздушная среда жизни

Общая характеристика. В ходе эволюции наземно-воздушная среда была освоена значительно позднее, чем водная. Жизнь на суше потребовала таких приспособлений, которые стали возможными только при сравнительно высоком уровне организации как растений, так и животных. Особенностью наземно-воздушной среды жизни является то, что организмы, которые здесь обитают, окружены воздухом и газообразной средой, характеризующейся низкими влажностью, плотностью и давлением, высоким содержанием

кислорода. Как правило, животные в этой среде передвигаются по почве (твердый субстрат), а растения укореняются в ней.

В наземно-воздушной среде действующие экологические факторы имеют ряд характерных особенностей: более высокая интенсивность света в сравнении с другими средами, значительные колебания температуры, изменение влажности в зависимости от географического положения, сезона и времени суток (табл. 5.3).

Таблица 5.3
Условия обитания организмов воздушной и водной среды
(по Д. Ф. Мордухай-Болтовскому, 1974)

Условия обитания	Значение условий для организмов	
	воздушной среды	водной среды
Влажность	Очень важное (часто в дефиците)	Не имеет (всегда в избытке)
Плотность среды	Незначительное (за исключением почвы)	Большое по сравнению с ее ролью для обитателей воздушной среды
Давление	Почти не имеет	Большое (может достигать 1000 атмосфер)
Температура	Существенное (колеблется в очень больших пределах (от -80 до +100 °С и более))	Меньшее по сравнению со значением для обитателей воздушной среды (колеблется гораздо меньше, обычно от -2 до +40°С)
Кислород	Несущественное (большой частью в избытке)	Существенное (часто в дефиците)
Взвешенные вещества	Неважное; не используются в пищу (главным образом минеральные)	Важное (источник пищи, особенно органические вещества)
Растворенные вещества окружающей среде	В некоторой степени (имеют в значение только в почвенных растворах)	Важное (в определенном количестве необходимы)

Воздействие вышеуказанных факторов неразрывно связано с движением воздушных масс — ветра. В процессе эволюции у живых организмов наземно-воздушной среды выработались характерные анатомо-морфологические, физиологические, поведенческие и другие адаптации. Например, появились органы, которые обеспечивают непосредственное усвоение атмосферного кислорода в процессе дыхания (легкие и трахеи животных, устьица растений). Получили сильное развитие скелетные образования (скелет животных, механические и опорные ткани растений), которые поддерживают тело в условиях незначительной плотности среды. Выработались приспособления для защиты от неблагоприятных факторов, таких, как периодичность и ритмика жизненных циклов, сложное строение покровов, механизмы терморегуляции и др. Сформировалась тесная связь с почвой (конечности животных, корни растений), выработалась подвижность животных в поисках пищи, появились переносимые воздушными течениями семена, плоды и пыльца растений, летающие животные.

Рассмотрим особенности воздействия основных экологических факторов на растения и животных в наземно-воздушной среде жизни.

Низкая плотность воздуха определяет его малую подъемную силу и незначительную спорность. Все обитатели воздушной среды тесно связаны с поверхностью земли, служащей им для прикрепления и опоры. Плотность воздушной среды не оказывает высокого сопротивления организма при их передвижении по поверхности земли, однако затрудняет перемещение по вертикали. Для большинства организмов пребывание в воздухе связано только с расселением или поиском добычи.

Малая подъемная сила воздуха определяет предельную массу и размеры наземных организмов. Самые крупные животные на поверхности земли меньше, чем гиганты водной среды. Крупные млекопитающие (размером и массой современного кита) не могли бы жить на суше, так как были бы раздавлены собственной тяжестью. Гигантские ящеры мезозоя вели полуводный образ жизни. Другой пример: высокие прямостоячие растения секвойи (*Sequoja sempervirens*), достигающие 100 м, обладают мощной опорной древесиной, в то время как в слоевищах гигантских бурых водорослей *Macrocystis*, вырастающих до 50 м, механические элементы лишь очень слабо обособлены в сердцевинной части таллома.

Малая плотность воздуха создает незначительную сопротивляемость передвижению. Экологические выгоды этого свойства воздушной среды использовали многие наземные животные в ходе эволюции, приобретая способность к полету. 75% всех видов наземных животных способны к активному полету. Это большей частью насекомые и птицы, но встречаются и млекопитающие, и рептилии. Наземные животные летают главным образом с помощью мускульных усилий. Некоторые животные могут и планировать за счет воздушных течений.

Вследствие подвижности воздуха, которое существует в нижних слоях атмосферы, вертикальное и горизонтальное передвижение воздушных масс, возможен пассивный полет отдельных видов организмов, развита *анемохория* — расселение с помощью воздушных потоков. Организмы, пассивно переносимые потоками воздуха, получили в совокупности название *аэропланктона*, по аналогии с планктонными обитателями водной среды. Для пассивного полета по Н.М. Черновой, А.М. Быловой (1988) у организмов имеются специальные адаптации — мелкие размеры тела, увеличение его площади за счет выростов, сильного расчленения, большой относительной поверхности крыльев, использование паутины и др.

Анемохорные семена и плоды растений обладают также очень мелкими размерами (например, семена кипрея) или разнообразными крыловидными (клен *Acer pseudoplatanum*) и парашюто-видными (одуванчик *Taraxacum officinale*) придатками

Ветроопыляемые растения обладают целым рядом приспособлений, которые улучшают аэродинамические свойства пыльцы. Цветочные покровы у них обычно редуцированы и пыльники ничем не защищены от ветра.

В расселении растений, животных и микроорганизмов главную роль

играют вертикальные конвенционные потоки воздуха и слабые ветры. Бури, ураганы оказывают также существенное экологическое воздействие на наземные организмы. Довольно часто сильные ветры, особенно дующие в одном направлении, изгибают ветви деревьев, стволы в подветренную сторону и служат причиной образования флагообразных форм кроны.

В районах, где постоянно дует сильный ветер, как правило, беден видовой состав мелких летающих животных, так как они не способны сопротивляться мощным воздушным потокам. Так, медоносная пчела летит только при силе ветра до 7 – 8 м/с, а тли – при очень слабом ветре, не превышающем 2,2 м/с. У животных этих мест развиваются плотные покровы, предохраняющие тело от охлаждения и потерь влаги. На океанических островах с постоянными сильными ветрами преобладают птицы и особенно насекомые, утратившие способность к полету, у них отсутствуют крылья, так как тех, кто способен подняться в воздух, сносит ветром в море и они погибают.

Ветер вызывает изменение интенсивности транспирации у растений и особенно сильно проявляется при суховеях, иссушающих воздух, может приводить к гибели растений. Основная же экологическая роль горизонтальных воздушных передвижений (ветров) – косвенная и заключается в усилении или ослаблении воздействия на наземные организмы таких важных экологических факторов, как температура и влажность. Ветры усиливают отдачу животными и растениями влаги и тепла.

При ветре легче переносится жара и тяжелее – морозы, быстрее наступает иссушение и охлаждение организмов.

Наземные организмы существуют в условиях относительно низкого давления, которое обусловлено малой плотностью воздуха. В целом наземные организмы более стенобатны, чем водные, потому что обычные колебания давления в окружающей их среде составляют доли атмосферы, и для поднимающихся на большую высоту, например, птиц, не превышают 1/3 нормального.

Газовый состав воздуха, как уже было рассмотрено ранее, в приземном слое атмосферы довольно однороден (кислород – 20,9%, азот — 78,1%, м.гртные газы — 1%, углекислый газ — 0,03% по объему) благодаря высокой его диффузионной способности и постоянному перемешиванию конвекционным и ветровым потоками. Вместе с тем различные примеси газообразных, капельно-жидких, пылевых (твердых) частиц, попадающих в атмосферу из локальных источников, нередко имеют существенное экологическое значение.

Кислород из-за постоянно высокого его содержания в воздухе не является фактором, лимитирующим жизнь в наземной среде. Высокое содержание кислорода способствовало повышению обмена веществ у наземных организмов, и на базе высокой эффективности окислительных процессов возникла гомойотермия животных. Только местами, в специфических условиях, создается временный дефицит кислорода, например в разлагающихся растительных остатках, запасах зерна, муки и т. д.

Содержание углекислого газа в атмосфере может меняться в результате сжигания ископаемого топлива, обмена с биосферой и океаном.

В отдельных участках приземного слоя воздуха содержание углекислого газа может изменяться в довольно значительных пределах. Так, при отсутствии ветра в крупных промышленных центрах, городах концентрация его может возрастать в десятки раз.

Закономерны суточные изменения содержания углекислоты в приземных слоях, обусловленные ритмом фотосинтеза растений (рис. 5.17).

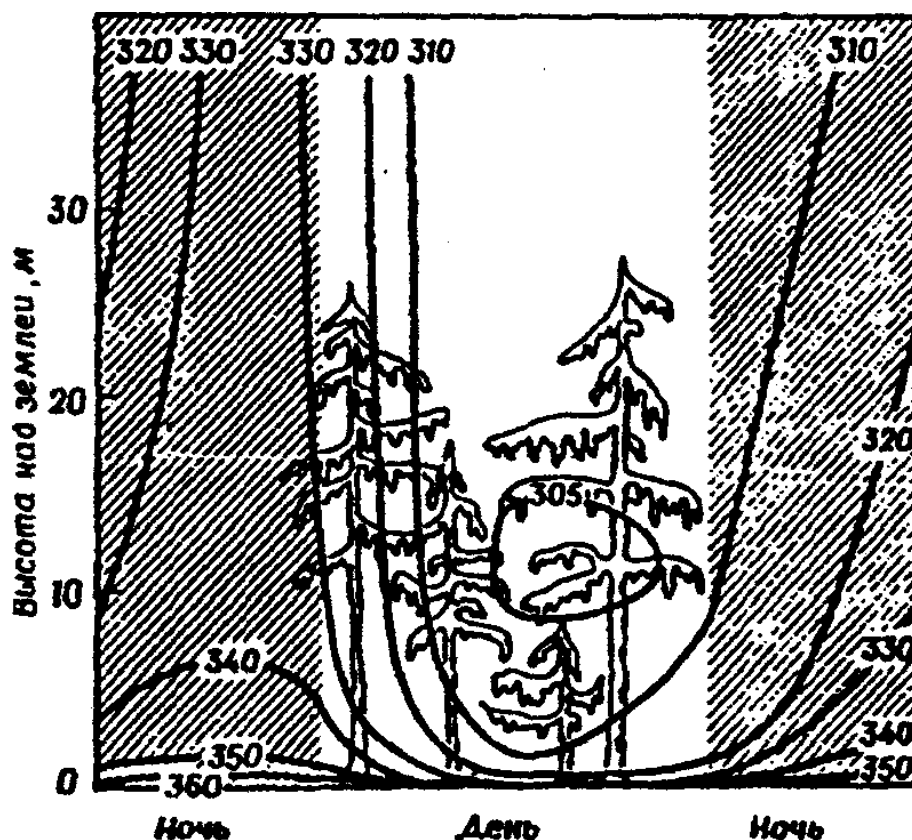


Рис. 5.17. Суточные изменения вертикального профиля концентрации CO_2 в воздухе леса (из В. Лархера, 1978)

На примере суточных изменений вертикального профиля концентрации CO_2 в воздухе леса показано, что днем на уровне крон деревьев углекислота расходуется на фотосинтез, а при отсутствии ветра здесь образуется зона, бедная CO_2 (305 ч на млн), в которую поступает CO_2 из атмосферы и почвы (дыхание почвы). Ночью устанавливается стабильное расслоение воздуха с повышенной концентрацией CO_2 в припочвенном слое. Сезонные колебания углекислого газа связаны с изменениями интенсивности дыхания живых организмов, большей частью микроорганизмов почвы.

В высоких концентрациях углекислый газ токсичен, но в природе такие концентрации встречаются редко. Низкое же содержание CO_2 тормозит процесс фотосинтеза. Для повышения скорости фотосинтеза в практике оранжерейного и тепличного хозяйства (в условиях закрытого грунта) нередко увеличивают

искусственным путем концентрацию углекислого газа.

Для большинства обитателей наземной среды азот воздуха представляет инертный газ, но такие микроорганизмы, как клубеньковые бактерии, азотобактерии, клостридии, обладают способностью связывать его и вовлекать в биологический круговорот.

Основной современный источник физического и химического загрязнения атмосферы является антропогенным: предприятия промышленности и транспорта, эрозия почв и т. д. Так, сернистый газ ядовит для растений в концентрациях от одной пятидесятитысячной до одной миллионной от объема воздуха. Лишайники погибают уже при следах в окружающей среде сернистого газа. Поэтому особо чувствительные растения к SO_2 нередко используются в качестве индикаторов его содержания в воздухе. Чувствительны к задымлению обыкновенная ель и сосна, клен, липа, береза.

Световой режим. Количество достигающей поверхности Земли радиации обусловлено географической широтой местности, продолжительностью дня, прозрачностью атмосферы и углом падения солнечных лучей. При разных погодных условиях к поверхности Земли доходит 42 — 70% солнечной постоянной. Проходя через атмосферу, солнечная радиация претерпевает ряд изменений не только в количественном отношении, но и по составу. Коротковолновая радиация поглощается озоновым экраном и кислородом воздуха. Инфракрасные лучи поглощаются в атмосфере водяными парами и диоксидом углерода. Остальная часть в виде прямой или рассеянной радиации достигает поверхности Земли.

Совокупность прямой и рассеянной солнечной радиации составляет от 7 до 7,7 суммарной радиации, тогда как в облачные дни рассеянная радиация составляет 100%. В высоких широтах преобладает рассеянная радиация, тропиках — прямая. Рассеянная радиация содержит в полдень желто-красных лучей до 80%, прямая — от 30 до 40%. В ясные солнечные дни солнечная радиация, достигающая поверхности Земли, на 45% состоит из видимого света (380 — 720 нм) и на 45% из инфракрасного излучения. Только 10% приходится на ультрафиолетовое излучение. На радиационный режим значительное влияние оказывает запыленность атмосферы. Вследствие ее загрязненности в некоторых городах освещенность может составлять 15% и менее освещенности за городом.

Освещенность на поверхности Земли варьирует в широких пределах. Все зависит от высоты стояния Солнца над горизонтом или угла падения солнечных лучей, длины дня и условий погоды, прозрачности атмосферы (рис. 5.18).

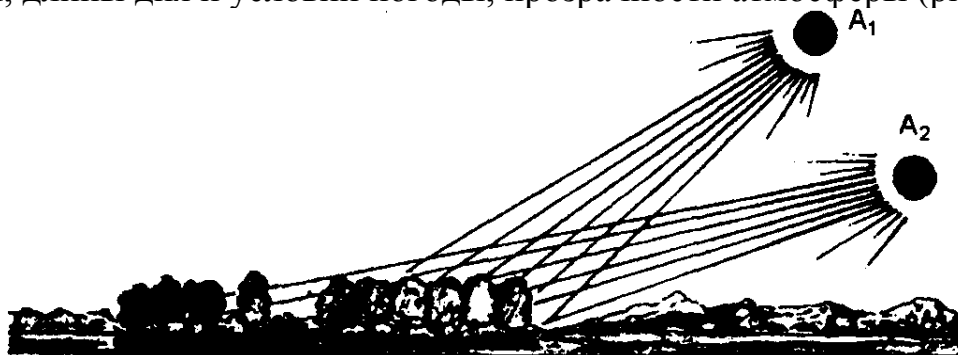


Рис. 5.18. Распределение солнечной радиации в зависимости от высоты Солнца над горизонтом (A_1 — высокое, A_2 — низкое)

В зависимости от времени года и времени суток также колеблется интенсивность света. В отдельных районах Земли неравноценно и качество света, например, соотношение длинноволновых (красных) и коротковолновых (синих и ультрафиолетовых) лучей. Коротковолновые лучи, как известно, больше, чем длинноволновые, поглощаются и рассеиваются атмосферой. В горных местностях поэтому всегда больше коротковолновой солнечной радиации.

Деревья, кустарники, посевы растений затевают местность, создают особый микроклимат, ослабляя радиацию (рис. 5.19).

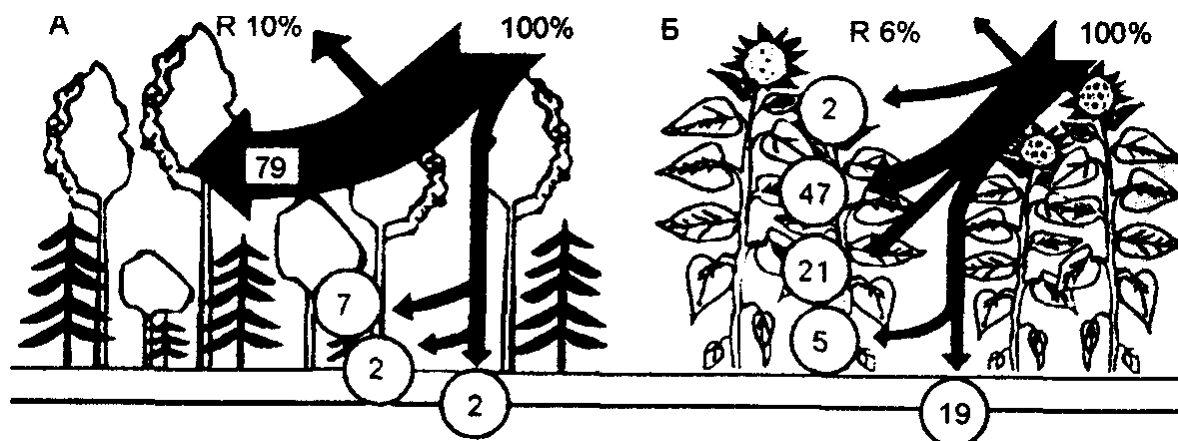


Рис. 5.19. Ослабление радиации:

А — в редком сосновом лесу; Б — в посевах кукурузы. Из поступающей фотосинтетически активной радиации 6—12% отражается (R) от поверхности насаждения.

Таким образом, в разных местообитаниях различаются не только интенсивность радиации, но и ее спектральный состав, продолжительность освещения растений, пространственное и временное распределение света разной интенсивности и т. д. Соответственно разнообразны и приспособления организмов к жизни в наземной среде при том или ином световом режиме. Как уже нами было отмечено ранее, по отношению к свету различают три основных группы растений: *светлюбивые* (гелиофиты), *тенелюбивые* (сциофиты) и *теневыносливые*. Светлюбивые и тенелюбивые растения различаются положением экологического оптимума.

У светлюбивых растений он находится в области полного солнечного освещения. Сильное затенение действует на них угнетающе. Это растения открытых участков суши или хорошо освещенных степных и луговых трав (верхний ярус травостоя), на скальные лишайники, ранневесенние травянистые растения листопадных лесов, большинство культурных растений открытого грунта и сорняков и т. д. Тенелюбивые растения имеют оптимум в области слабой освещенности и не выносят сильного света. Это главным образом нижние затененные яруса сложных растительных сообществ, где затенение результат «перехвата» света более высокорослыми растениями и-сообитателями.

Сюда относят и многие комнатные и оранжерейные растения. Большой частью это выходцы из травянистого покрова или флоры эпифитов тропических лесов.

Экологическая кривая отношения к свету и у теневыносливых несколько асимметрична, так как они лучше растут и развиваются при полной освещенности, но хорошо адаптируются и к слабому свету. Это распространенная и очень пластичная группа растений в наземной среде.

У растений наземно-воздушной среды выработались приспособления к различным условиям светового режима: анатомо-морфологические, физиологические и др.

Наглядным примером анатомо-морфологических приспособлений является изменение внешнего облика в разных световых условиях, например неодинаковая величина листовых пластинок у растений, родственных по систематическому положению, но живущих при разном освещении (луговой колокольчик — *Campanula patula* и лесной — *C. trachelium*, фиалка полевая — *Viola arvensis*, растущая на полях, лугах, опушках, и лесные фиалки — *V. mirabilis*), рис. 5.20.

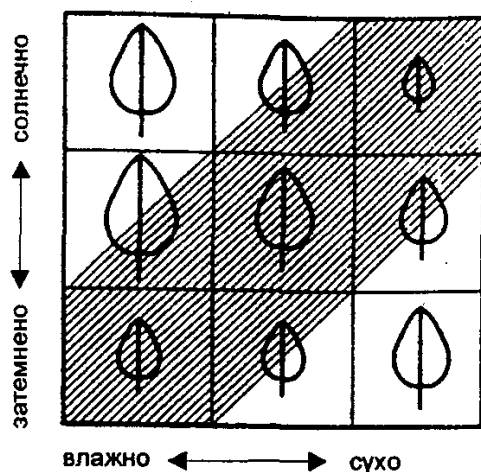


Рис. 5.20. Распределение размеров листьев в зависимости от условий обитания растений: от влажных к сухим и от затененных к солнечным

Примечание. Заштрихованный участок соответствует условиям, преобладающим в природе

В условиях избытка и недостатка света расположение листовых пластинок у растений в пространстве значительно варьирует. У растений-гелиофитов листья ориентированы на уменьшение прихода радиации в самые «опасные» дневные часы. Листовые пластинки расположены вертикально или под большим углом к горизонтальной плоскости, поэтому днем листья получают большей частью скользкие лучи (рис. 5.21).

Особенно это ярко выражено у многих степных растений. Интересна адаптация к ослаблению полученной радиации у так называемых «компасных» растений (дикий латук — *Lactuca serriola* и др.). Листья у дикого латука расположены в одной плоскости, ориентированной с севера на юг, и в полдень приход радиации к листовой поверхности минимальный.

У теневыносливых же растений листья расположены так, чтобы получить максимальное количество падающей радиации.

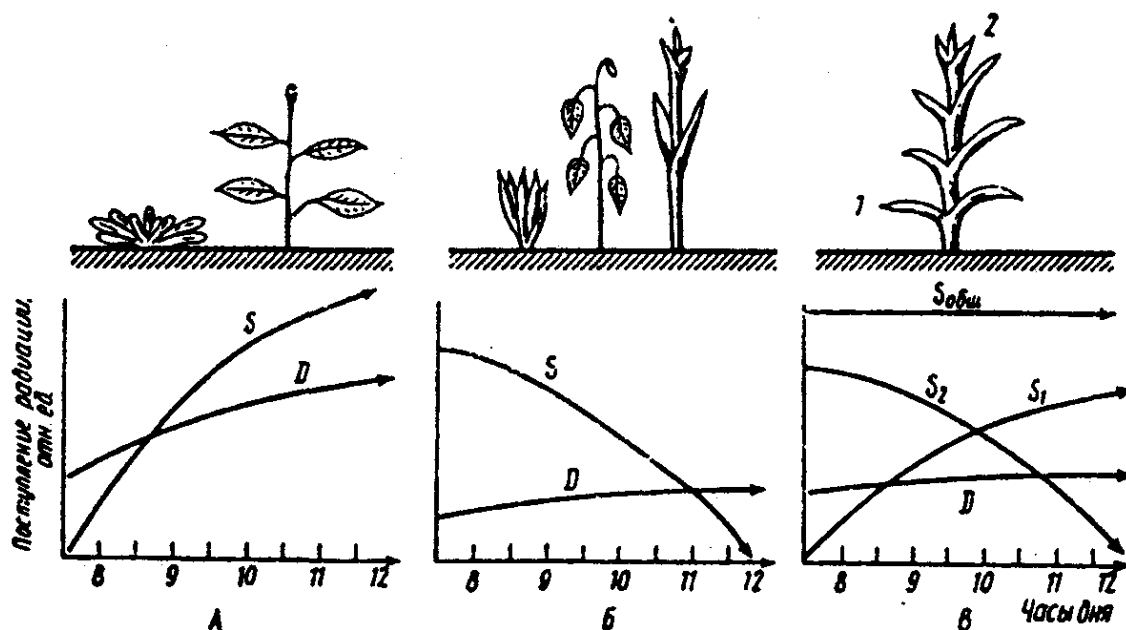


Рис. 5.21. Поступление прямой (S) и рассеянной (D) солнечной радиации к растениям с горизонтальными (А), вертикальными (Б) и различно ориентированными (В) листьями (по И. А. Шульгину, 1967)

1,2 — листья с разными углами наклона; S_1 , S_2 — поступление к ним прямой радиации; $S_{общ}$ — ее суммарное поступление к растению

Нередко теневыносливые растения способны к защитным движениям: изменению положения листовых пластинок при попадании на них сильного света. Участки травяного покрова со сложенными листьями кислицы сравнительно точно совпадают с расположением крупных солнечных бликов. Ряд адаптивных черт можно отметить в строении листа как основного приемника солнечной радиации. Например, у многих гелиофитов поверхность листа способствует отражению солнечных лучей (блестящая — у лавра, покрытая светлым волосковым налетом — у кактуса, молочаев) или ослаблению их действия (толстая кутикула, густое опушение). Для внутреннего строения листа характерно мощное развитие палисадной ткани, наличие большого количества мелких и светлых хлоропластов (рис. 5.22).

Одна из защитных реакций хлоропластов на избыточный свет является их способность к изменению ориентировки и к перемещению в клетке, ярко выраженная у световых растений.

На ярком свету хлоропласты занимают в клетке поперечное положение и становятся «ребром» к направлению лучей. При слабом освещении они распределяются в клетке диффузно или скапливаются в ее нижней части.

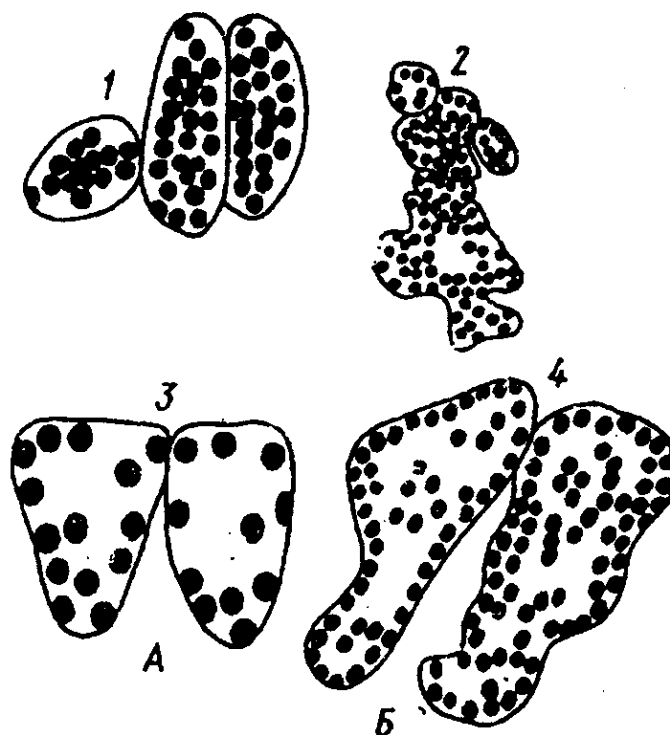


Рис. 5.22. Различные величины хлоропластов у теневыносливых (А) и светолюбивых (Б) растений:

1 — тисе; 2 — лиственница; 3 — копытень; 4 — чистяк весенний (По Т. К. Горышиной, Е. Г. Пружиной, 1978)

Физиологические адаптации растений к световым условиям наземно-воздушной среды охватывают различные жизненные функции. Установлено, что у светолюбивых растений ростовые процессы более чутко реагируют на недостаток света по сравнению с теневыми. В результате наблюдается усиленное вытягивание стеблей, которое помогает растениям пробиться к свету, в верхние ярусы растительных сообществ.

Основные физиологические адаптации к свету лежат в сфере фотосинтеза. В общей форме изменение фотосинтеза в зависимости от интенсивности света выражается «световой кривой фотосинтеза». Экологическое значение имеют следующие ее параметры (рис. 5.23).

1. Точке пересечения кривой с осью ординат (рис. 5.23, а) соответствует величина и направление газообмена растений в полной темноте: фотосинтез отсутствует, имеет место дыхание (не поглощение, а выделение CO_2), поэтому точка а лежит ниже оси абсцисс.

2. Точка пересечения световой кривой с осью абсцисс (рис. 5.23, б) характеризует «компенсационный пункт», т. е. интенсивность света, при которой фотосинтез (поглощение CO_2) уравнивает дыхание (выделение CO_2).

3. Интенсивность фотосинтеза с увеличением света возрастает только до определенного предела, в дальнейшем остается постоянной — световая кривая фотосинтеза выходит на «плато насыщения».

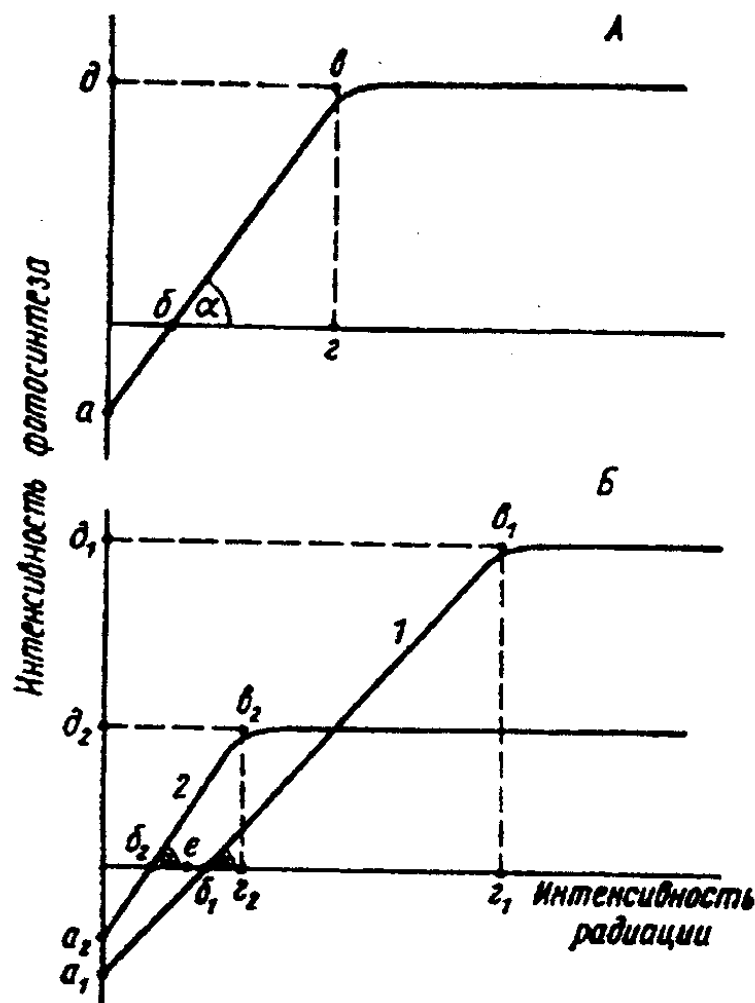


Рис. 5.23. Световые кривые фотосинтеза:

А — общая схема; Б — кривые для светолюбивых (1) и теневыносливых (2) растений

На рис. 5.23 область перегиба условно обозначена плавной кривой, перелому которой соответствует точка b . Проекция точки b на ось абсцисс (точка c) характеризует «насыщенную» интенсивность света, т. е. такую величину, выше которой свет уже не повышает интенсивность фотосинтеза. Проекция на ось ординат (точка d) соответствует наибольшей интенсивности фотосинтеза для данного вида в данной наземно-воздушной среде.

4. Важная характеристика световой кривой — угол наклона (α) к абсциссе, которая отражает степень увеличения фотосинтеза при возрастании радиации (в области сравнительно низкой интенсивности света).

У растений отмечается сезонная динамика реакции на свет. Так, у осоки волосистой (*Carex pilosa*) ранней весной в лесу только что появившиеся листья имеют плато светового насыщения фотосинтеза за 20 — 25 тыс. лк, при летнем затенении у этих же видов кривые зависимости фотосинтеза от света становятся соответственными параметрам «теневого», т. е. листья приобретают способность более эффективно использовать слабый свет, эти же листья после перезимовки под пологом безлистного весеннего леса снова обнаруживают «световые» черты фотосинтеза.

Своеобразной формой физиологической адаптации при резком недостатке света служит потеря растением способности к фотосинтезу, переход к гетеротрофному питанию готовыми органическими веществами. Иногда такой переход становился безвозвратным из-за потери растениями хлорофилла, например, орхидеи тенистых еловых лесов (*Goodyera repens*, *Weottia nidus avis*), вертляница (*Monotropa hypopitys*). Они живут за счет мертвых органических остатков, получаемых от древесных пород и других растений. Данный способ питания получил название сапрофитного, а растения называют *сапрофитами*.

Для подавляющего большинства наземных животных с дневной и ночной активностью зрение представляет один из способов ориентации, имеет важное значение для поисков добычи. Многие виды животных обладают и цветным видением. В связи с этим у животных, особенно жертв, возникли приспособительные особенности. К ним относятся защитная, маскирующая и предупреждающая окраска, покровительственное сходство, мимикрия и т. п. Возникновение ярко окрашенных цветков высших растений также связано с особенностями зрительного аппарата опылителей и в конечном счете со световым режимом среды.

Водный режим. Дефицит влаги — одна из наиболее существенных особенностей наземно-воздушной среды жизни. Эволюция наземных организмов проходила путем приспособления к добыванию и сохранению влаги. Режимы влажности среды на суше разнообразны — от полного и постоянного насыщения воздуха водяными парами, где в год выпадает несколько тысяч миллиметров осадков (области экваториального и муссонно-тропического климата) до практически полного их отсутствия в сухом воздухе пустынь. Так, в тропических пустынях среднегодовое количество осадков меньше 100 мм в год, и при этом дожди выпадают не каждый год.

Годовое количество осадков не всегда дает возможность оценить водообеспеченность организмов, так как одно и то же их количество может характеризовать пустынный климат (в субтропиках) и очень влажный (в Арктике). Большую роль играет соотношение осадков и испаряемости (суммарного годового испарения со свободной водной поверхности), также неодинаковый в разных районах земного шара. Области, где эта величина превышает годовую сумму осадков, называют *аридными* (сухими, засушливыми). Здесь, например, растения испытывают недостаток влаги в течение большей части вегетационного периода. Области, в которых растения обеспечены влагой, называют *гумидными*, или влажными. Нередко выделяют и переходные зоны — *полуаридные* (семиаридные).

Зависимость растительности от среднегодового количества осадков и температуры показана на рис. 5.24.

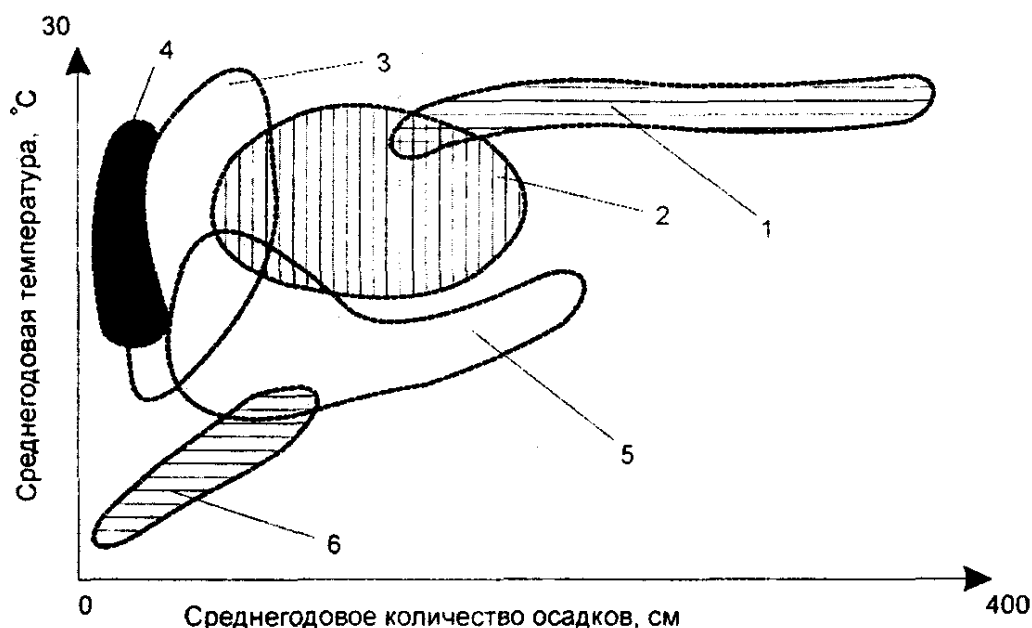


Рис. 5.24. Зависимость растительности от среднегодового количества осадков и температуры:

1 — тропический лес; 2 — листопадный лес; 3 — степь;
4 — пустыня; 5 — хвойный лес; 6 — арктическая и горная тундра

Водообеспечение наземных организмов зависит от режима выпадения осадков, наличия водоемов, запасов почвенной влаги, близости грунтовых вод и т. д. Это способствовало развитию у наземных организмов множества адаптации к различным режимам водообеспечения.

На рис. 5.25 слева направо показаны переход от обитающих в воде низших водорослей с клетками без вакуолей к первичным пойкилогидрическим наземным водорослям, образование вакуолей у водных зеленых и харовых водорослей, переход от имеющих вакуоли таллофитов к гомойогидрическим кормофитам (распространение мхов — гидрофитов еще ограничено местообитаниями с высокой влажностью воздуха, в сухих местообитаниях мхи становятся вторично пойкилогидрическими); среди папоротников и покрытосеменных (но не среди голосеменных) также имеются вторично пойкилогидрические формы. Большинство листостебельных растений гомойогидричны благодаря наличию у них кутикулярной защиты от транспирации и сильной вакуолизации их клеток. Следует отметить, что ксерофильность животных и растений свойственна только наземно-воздушной среде.

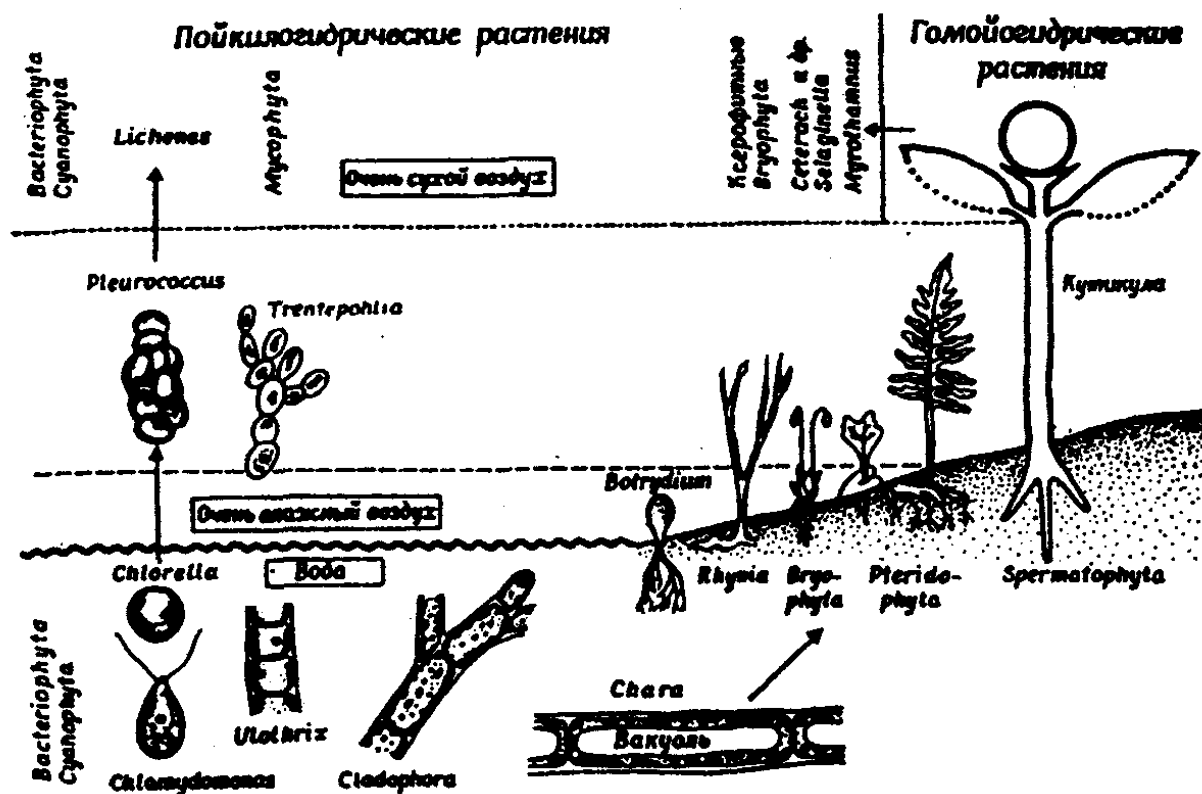


Рис. 5.25. Приспособление водного обмена растений к наземному образу жизни (из В. Лархера, 1978)

Осадки (дождь, град, снег), кроме водообеспечения и создания запасов влаги, часто играют и другую экологическую роль. Например, при ливневых дождях почва не успевает впитывать влагу, вода сильными потоками быстро стекает и зачастую сносит в озера и реки слабо укоренившиеся растения, мелких животных и плодородный слой почвы. В поймах рек дожди могут вызывать паводки и оказывать таким образом неблагоприятное воздействие на обитающих здесь растения и животных. В затопляемых периодически местах образуются своеобразные пойменные фауна и флора.

Отрицательное действие на растения и животных оказывает и град. Посевы сельскохозяйственных культур на отдельных полях иногда бывают полностью уничтожены этим стихийным бедствием.

Многообразна экологическая роль снежного покрова. Для растений, почки возобновления которых находятся в почве или у ее поверхности, многих мелких животных снег играет роль теплоизолирующего покрова, защищая от низких зимних температур. При морозах выше -14°C под слоем снега 20 см температура почвы не опускается ниже $0,2^{\circ}\text{C}$. Глубокий снежный покров предохраняет от вымерзания зеленые части растений, такие, как вероника лекарственная, копытень и др., которые уходят под снег, не сбрасывая листья. Мелкие наземные животные ведут зимой активный образ жизни, прокладывая под снегом и в его толще многочисленные галереи ходов. При наличии витаминизированного корма в снежные зимы там могут размножаться грызуны (лесная и желтогорлая мыши, ряд полевок, водяная крыса и др.). Под снегом в

сильные морозы прячутся рябчики, куропатки, тетерева.

Крупным животным зимний снежный покров нередко мешает добывать корм, передвигаться, особенно при образовании на поверхности ледяной корки. Так, лоси (*Alces alces*) свободно преодолевают слой снега глубиной до 50 см, но более мелким животным это недоступно. Часто при многоснежных зимах наблюдается гибель косуль, диких кабанов.

Выпадение большого количества снега оказывает отрицательное влияние и на растения. Помимо механических повреждений в виде снеголомов или снеговалов мощный слой снега может приводить к выпреванию растений, а во время таяния снега, особенно в затяжную весну, к вымоканию растений.



Рис. 5.26. Опорная поверхность конечностей белой куропатки зимой (А) и летом (Б)

От низких температур при сильных ветрах в малоснежные зимы страдают растения и животные. Так, в годы, когда снега выпадает мало, гибнут мышевидные грызуны, кроты и другие мелкие животные. Вместе с тем в широтах, где зимой выпадают осадки в виде снега, растения и животные исторически приспособились к жизни в снегу или на его поверхности, выработав различные анатомо-морфологические, физиологические, поведенческие и другие особенности. Например, у некоторых животных увеличивается к зиме опорная поверхность ног путем обрастания их жесткими волосами (рис.

5.26), перьями, роговыми щитками.

Другие мигрируют или впадают в неактивное состояние — сон, спячка, диапауза. Ряд животных переходит на питание определенными видами кормов.

Белизна снежного покрова демаскирует темных животных. Сезонная смена окраски у белой и тундряной куропаток, горностая (рис. 5.27), зайца-беляка, ласки, песца, несомненно, связана с отбором на маскировку под цвет фона.

Осадки помимо непосредственного воздействия на организмы обуславливают ту или иную влажность воздуха, которая, как уже отмечалось, играет важную роль в жизни растений и животных, так как влияет на интенсивность их водного обмена. Испарение с поверхности тела животных и транспирация у растений идут тем интенсивнее, чем меньше воздух насыщен парами воды.

Поглощение надземными частями капельно-жидкой влаги, выпадающей в виде дождя, а также парообразной влаги из воздуха, у высших растений встречается у эпифитов тропических лесов, которые поглощают влагу всей поверхностью листьев и

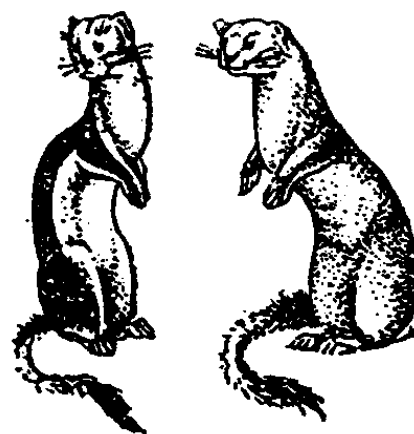


Рис. 5.27. Сезонная окраска горностая

воздушных корней. Парообразную влагу из воздуха могут впитывать ветви некоторых кустарников и деревьев, например саксаулов — *Halaxylon persicum*, *H. aphyllum*. У высших споровых и особенно низших растений поглощение влаги надземными частями является обычным способом водного питания (мхи, лишайники и др.). При недостатке влаги мхи, лишайники способны переживать длительное время в состоянии, близком к воздушно-сухому, впадая в анабиоз. Но стоит пройти дождю, как эти растения быстро впитывают влагу всеми наземными частями, приобретают мягкость, восстанавливают тургор, возобновляют процессы фотосинтеза и роста.

У растений сильно увлажненных наземных сред обитания нередко возникает необходимость удаления избытка влаги. Как правило, это бывает, когда почва хорошо прогрета и корни активно всасывают воду, а транспирация отсутствует (утром или при тумане, когда влажность воздуха 100%).

Избыточная влага удаляется путем *гуттации* — это выделение воды через специальные выделительные клетки, расположенные по краю или на острие листа (рис. 5.28).



Рис. 5.28. Типы гуттации у разных растений
(по А.М. Гродзинскому, 1965):

1 — у злаков, 2 — у земляники, 3 — у тюльпана, 4 — у молочая,
5 — у беллевалии сарматской, 6 — у клевера

К гуттации способны не только гигрофиты, но и многие мезофиты. Например, в украинских степях гуттация обнаружена более чем у половины всех видов растений. Многие луговые травы гуттируют так сильно, что увлажняют поверхность почвы. Так животные и растения приспосабливаются к сезонному распределению осадков, к их количеству и характеру. Этим

определяется состав растений и животных, сроки протекания тех или иных фаз в цикле их развития.

На влажность оказывает влияние и конденсация водяных паров, часто происходящая в приземном слое воздуха при смене температуры. Выпадение росы проявляется при снижении температуры в вечерние часы. Нередко роса выпадает в таком количестве, что обильно смачивает растения, стекает в почву, увеличивает влажность воздуха и создает благоприятные условия для живых организмов, особенно когда других осадков выпадает мало. Осаждению росы способствуют растения. Охлаждаясь ночью, они конденсируют на себе водяные пары. На режим влажности значительно влияют туманы, густая облачность и другие природные явления.

При количественной характеристике среды обитания растений по водному фактору используют показатели, отражающие содержание, распределение влаги не только в воздухе, но и в почве. *Почвенная вода*, или влажность почвы, является одним из основных источников влаги для растений. Вода в почве находится в раздробленном состоянии, вкраплена в поры разных размеров и форм, имеет большую поверхность раздела с почвой, содержит ряд катионов и анионов. Отсюда почвенная влага неоднородна по физическим и химическим свойствам. Не вся вода, содержащаяся в почве, может быть использована растениями. По физическому состоянию, подвижности, доступности и значению для растений почвенная вода подразделяется на гравитационную, гигроскопическую и капиллярную.

В почве содержится и парообразная влага, занимающая все свободные от воды поры. Это почти всегда (кроме пустынных почв) насыщенный водяной пар. При понижении температуры ниже 0°C почвенная влага переходит в лед (вначале свободная вода, а при дальнейшем охлаждении — и часть связанной).

Общее количество воды, которое может быть удержано почвой (его определяют, добавляя избыток воды и затем ожидая, пока она не перестанет выходить каплями), называется *полевой влагоемкостью*.

Содержание влаги в почве, при котором растение не удовлетворяет свою потребность в воде, называется *коэффициентом за-вядания*. Для одйого и того же вида растения на разных почвах коэффициент завядания неодинаков и составляет, например, для тяжелой глины 16,3%, а для крупного песка — 0,9%.

Следовательно, общее количество воды в почве не может характеризовать степень обеспеченности растений влагой. Для ее определения из общего количества воды необходимо вычесть коэффициент завядания. Однако физически доступная вода почвы физиологически не всегда доступна растениям из-за низкой температуры почвы, недостатка кислорода в почвенной воде и почвенном воздухе, кислотности почвы, высокой концентрации растворенных в почвенной воде минеральных солей. Несоответствие между всасыванием воды корнями и отдачей ее листьями приводит к завяданию растений. От количества физиологически доступной воды зависит развитие не только надземных частей, но и корневой системы растений. У растений, произрастающих на сухих почвах, корневая система, как правило, более разветвлена, более мощная, чем на влажных (рис. 5.29).

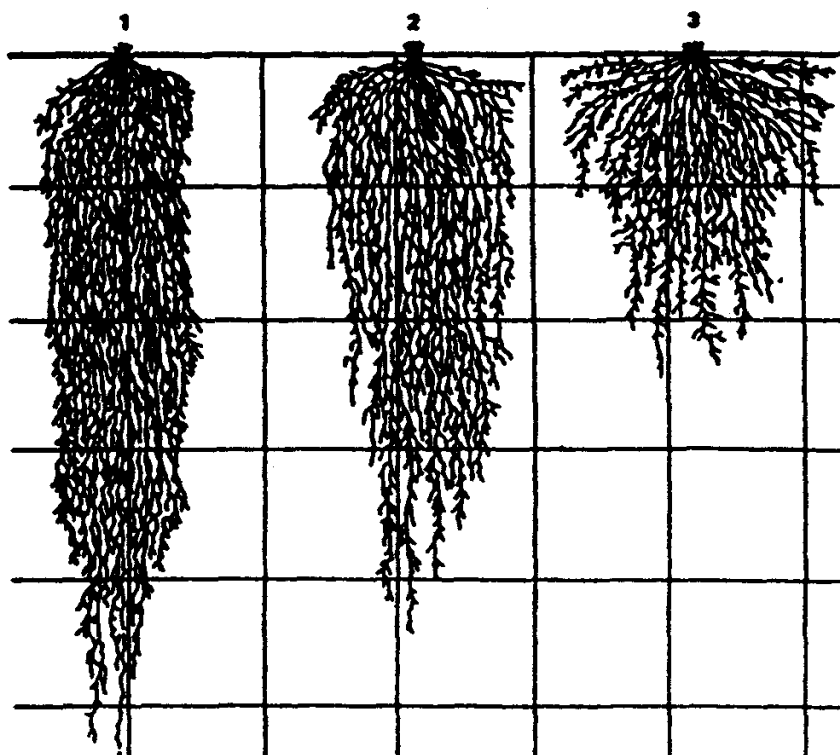


Рис. 5.29. Корневая система озимой пшеницы
(по В. Г. Хржановскому и др., 1994):

1 — при большом количестве осадков; 2 — при среднем;
3 — при малом

Одним из источников почвенной влаги являются грунтовые воды. При низком их уровне капиллярная вода не достигает почвы и не влияет на ее водный режим. Увлажнение почвы за счет только атмосферных осадков вызывает сильные колебания ее влажности, что часто отрицательно влияет на растения. Вредно сказывается и слишком высокий уровень грунтовых вод, потому что это приводит к переувлажнению почвы, к обеднению кислородом и обогащению минеральными солями. Постоянное увлажнение почвы независимо от капризов погоды обеспечивает оптимальный уровень грунтовых вод.

Температурный режим. Отличительной чертой наземно-воздушной среды является большой размах температурных колебаний. В большинстве районов суши суточные и годовые амплитуды температур составляют десятки градусов. Особенно значительны изменения температуры воздуха в пустынях и приполярных континентальных районах. Например, сезонный размах температуры в пустынях Средней Азии 68—77°C, а суточный 25—38°C. В окрестностях Якутска среднеянварская температура воздуха -43°C, среднеиюльская +19°C, а годовой размах от -64 до +35°C. В Зауралье годовой ход температуры воздуха резкий и сочетается с большой изменчивостью температур зимних и весенних месяцев в разные годы. Самым холодным является январь, средняя температура воздуха составляет от -16 до -19°C, в отдельные годы понижается до -50°C, самый теплый месяц июль с температурой от 17,2 до 19,5°C. Максимальные плюсовые температуры 38—

41°C.

Еще более значительны колебания температуры на поверхности почвы.

Наземные растения занимают зону, прилежащую к поверхности почвы, т. е. к «поверхности раздела», на которой совершается переход падающих лучей из одной среды в другую или по-другому — из прозрачной в непрозрачную. На этой поверхности создается особый тепловой режим: днем — сильное нагревание благодаря поглощению тепловых лучей, ночью — сильное охлаждение вследствие лучеиспускания. Отсюда приземный слой воздуха испытывает наиболее резкие суточные колебания температур, которые в наибольшей степени выражены над оголенной почвой.

Тепловой режим местообитания растений, например, характеризуется на основе измерений температуры непосредственно в растительном покрове. В травянистых сообществах измерения делают внутри и на поверхности травостоя, а в лесах, где существует определенный вертикальный градиент температуры, — в ряде точек на разных высотах.

Устойчивость к температурным изменениям среды у наземных организмов различна и зависит от конкретного местообитания, где протекает их жизнь. Так, наземные листостебельные растения в большинстве своем растут в широком температурном диапазоне, т. е. являются эвритермными. Их жизненный интервал в активном состоянии простирается, как правило, от 5 до 55°C, при этом между 5 и 40°C эти растения продуктивны. Растения континентальных областей, для которых характерен четкий суточный ход температуры, развиваются лучше всего, когда ночь на 10—15°C холоднее, чем день. Это относится к большинству растений умеренной зоны — при разнице температур 5—10°C, а тропические растения при еще меньшей амплитуде — около 3°C (рис. 5.30).

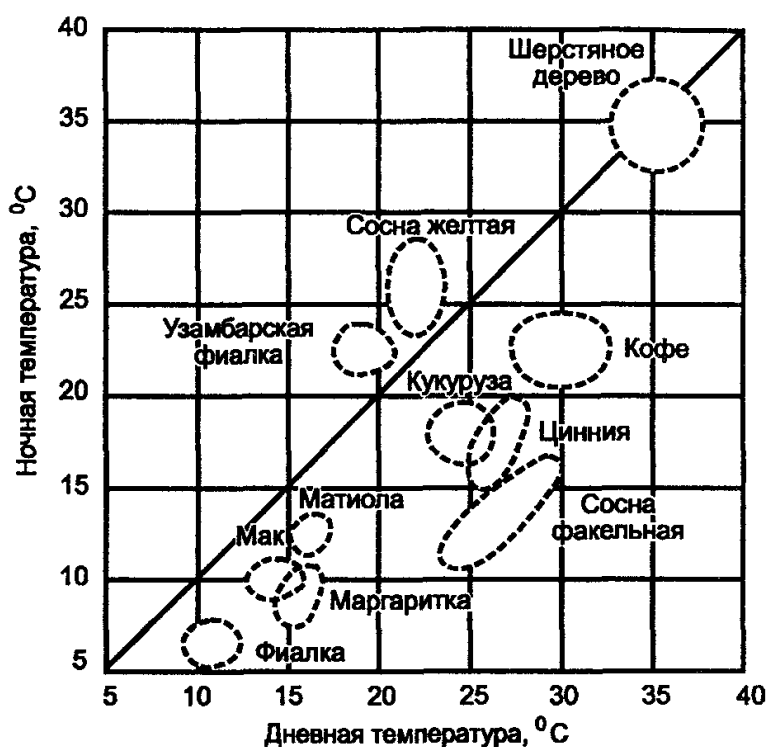


Рис. 5.30. Области оптимальных температур для роста и развития различных растений (по Went, 1957)

У пойкилотермных организмов с повышением температуры (T) продолжительность развития (t) уменьшается все быстрее. Скорость развития Vt может быть выражена формулой $Vt = 100/t$.

Для достижения определенной стадии развития (например, у насекомых — из яйца), т.е. окукливания, имагинальной стадии, всегда требуется определенная сумма температур. Произведение эффективной температуры (температуры выше нулевого пункта развития, т. е. $T - T_0$) на длительность развития (t) дает специфическую для данного вида *термальную постоянную* развития $c = t(T - T_0)$. Используя данное уравнение, можно рассчитать время наступления определенной стадии развития, например, вредителя растения, на которой эффективна с ним борьба.

Растения как пойкилотермные организмы не имеют собственной стабильной температуры тела. Их температура определяется тепловым балансом, т. е. соотношением поглощения и отдачи энергии. Эти величины зависят от многих свойств как окружающей среды (размеры прихода радиации, температура окружающего воздуха и его движения), так и самих растений (окраска и другие оптические свойства растения, величина и расположение листьев и др.). Первостепенную роль играет охлаждающее действие транспирации, которая препятствует сильным перегревам растений в жарких местообитаниях. Как результат действия вышеуказанных причин, температура растений обычно отличается (нередко довольно значительно) от температуры окружающего воздуха. Здесь возможны три ситуации: температура растения выше температуры окружающего воздуха, ниже ее, равна или очень близка к ней. Превышение температуры растений над температурой воздуха встречается не только в сильно прогреваемых, но и в более холодных местообитаниях. Этому способствуют темная окраска или иные оптические свойства растений, которые увеличивают поглощение солнечной радиации, а также анатомо-морфологические особенности, способствующие снижению транспирации. Довольно заметно могут нагреваться арктические растения (рис. 5.31).

Другим примером является карликовая ива — *Salix arctica* на Аляске, у которой днем листья теплее воздуха на 2—11 °С и даже в ночные часы полярного «круглосуточного дня» — на 1—3 °С.

Ранневесенним эфемероидам, так называемым «подснежникам», нагревание листьев обеспечивает возможность достаточно интенсивного фотосинтеза в солнечные, но еще холодные весенние дни. Для холодных местообитаний или связанных с сезонными колебаниями температур повышение температуры растений экологически очень важно, так как физиологические процессы при этом получают независимость в известных пределах от окружающего теплового фона.

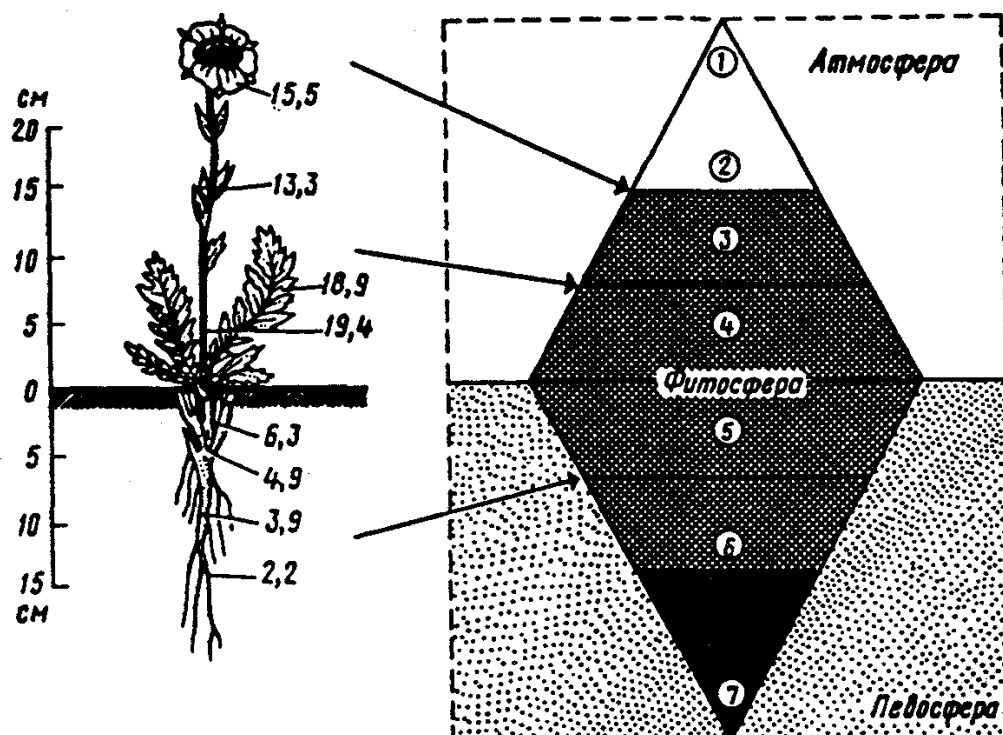


Рис. 5.31. Распределение температур в розеточном растении арктической тундры (*Novosieversia glacialis*) в солнечное июньское утро при температуре воздуха $11,7^{\circ}\text{C}$ (по Б. А. Тихомирову, 1963)

Справа — интенсивность процессов жизнедеятельности в биосфере: 1 — самый холодный слой воздуха; 2 — верхняя граница прироста побегов; 3, 4, 5 — зона наибольшей активности жизненных процессов и максимального накопления органического вещества; 6 — уровень вечной мерзлоты и нижняя граница укоренения; 7 — область наиболее низких температур почвы

Снижение температуры растений по сравнению с окружающим воздухом чаще всего отмечается в сильно освещенных и прогреваемых участках наземной сферы (пустыня, степь), где листовая поверхность растений сильно редуцирована, а усиленная транспирация способствует удалению избытка тепла и предотвращает перегрев. В общих чертах можно сказать, что в жарких местообитаниях температура надземных частей растений ниже, а в холодных — выше температуры воздуха. Совпадение температуры растений с температурой окружающего воздуха встречается реже — в условиях, исключающих сильный приток радиации и интенсивную транспирацию, например, у травянистых растений под пологом лесов, а на открытых участках — в пасмурную погоду или при дожде.

В целом же наземные организмы по сравнению с водными отличаются большей эвритермностью.

В наземно-воздушной среде условия жизни осложняются существованием *погодных изменений*. Погода — это непрерывно меняющееся состояние атмосферы у земной поверхности, примерно до высоты 20 км (граница тропосферы). Изменчивость погоды проявляется в постоянном варьировании сочетания таких факторов среды, как температура и влажность

воздуха, облачность, осадки, сила и направление ветра и т. д. (рис. 5.32).

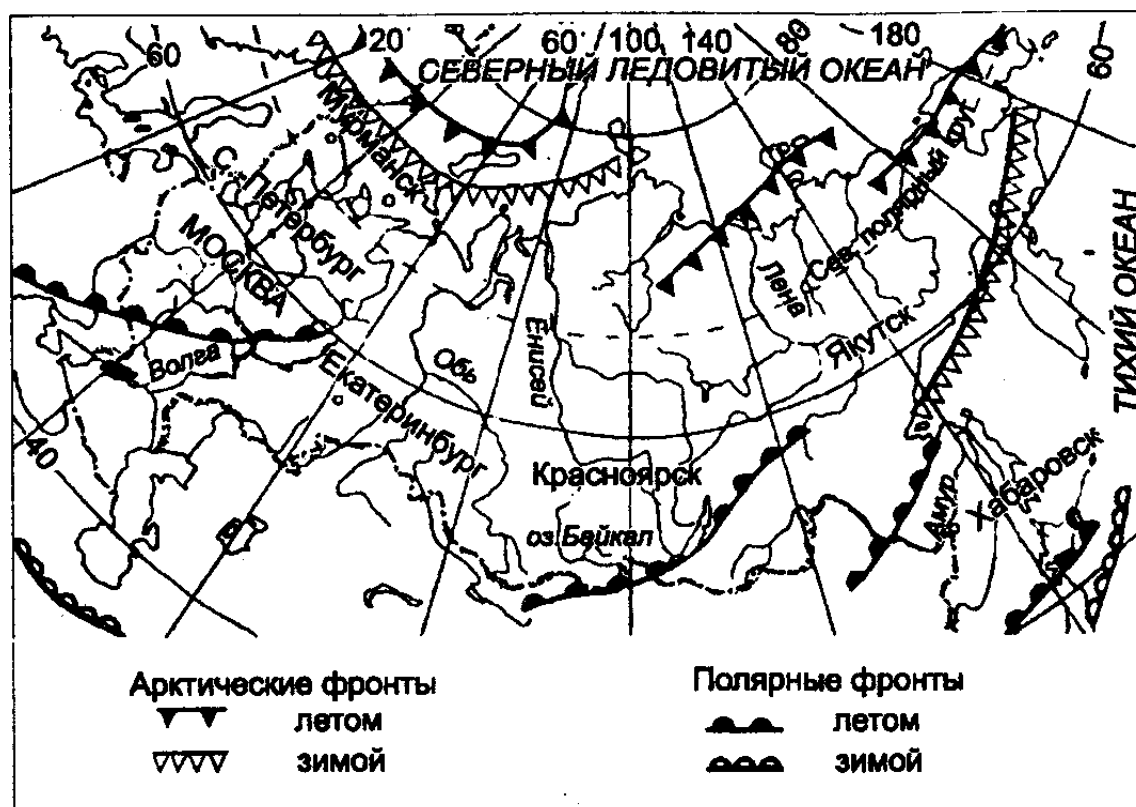


Рис. 5.32. Атмосферные фронты над территорией России

Для погодных изменений наряду с закономерным чередованием их в годовом цикле характерны неперiodические колебания, существенно усложняющие условия существования наземных организмов. На рис. 5.33 на примере гусеницы яблоневой плодожорки *Carpocapsa pomonella* показана зависимость смертности от температуры и относительной влажности.

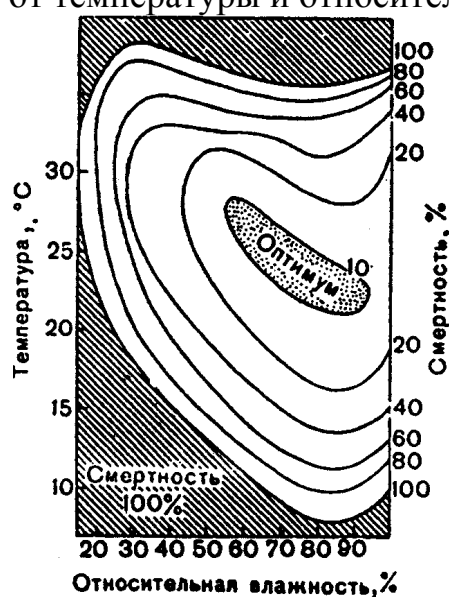


Рис. 5.33. Смертность гусениц яблоневой плодожорки *Carpocapsa pomonella* в зависимости от температуры и влажности (по Р. Дажо, 1975)

Из нее следует, что кривые равной смертности имеют концентрическую форму и что оптимальная зона ограничена относительной влажностью 55 и 95% и температурой 21 и 28°C.

Свет, температура и влажность воздуха обуславливают у растений обычно не максимальную, а среднюю степень открытия устьиц, так как совпадение всех условий, способствующих их открытию, случается редко.

Многолетний режим погоды характеризует *климат местности*. В понятие климата входят не только средние значения метеорологических явлений, но и их годовой и суточный ходы, отклонение от него, их повторяемость. Климат определяется географическими условиями района.

Основные климатические факторы — это температура и влажность, измеряемые количеством осадков и насыщенностью воздуха водяными парами. Так, в удаленных от моря странах наблюдается постепенный переход от гумидного климата через семиаридную промежуточную зону со случайными или периодическими засушливыми периодами к аридной территории, для которой характерны продолжительная засуха, засоление почвы и воды (рис. 5.34).

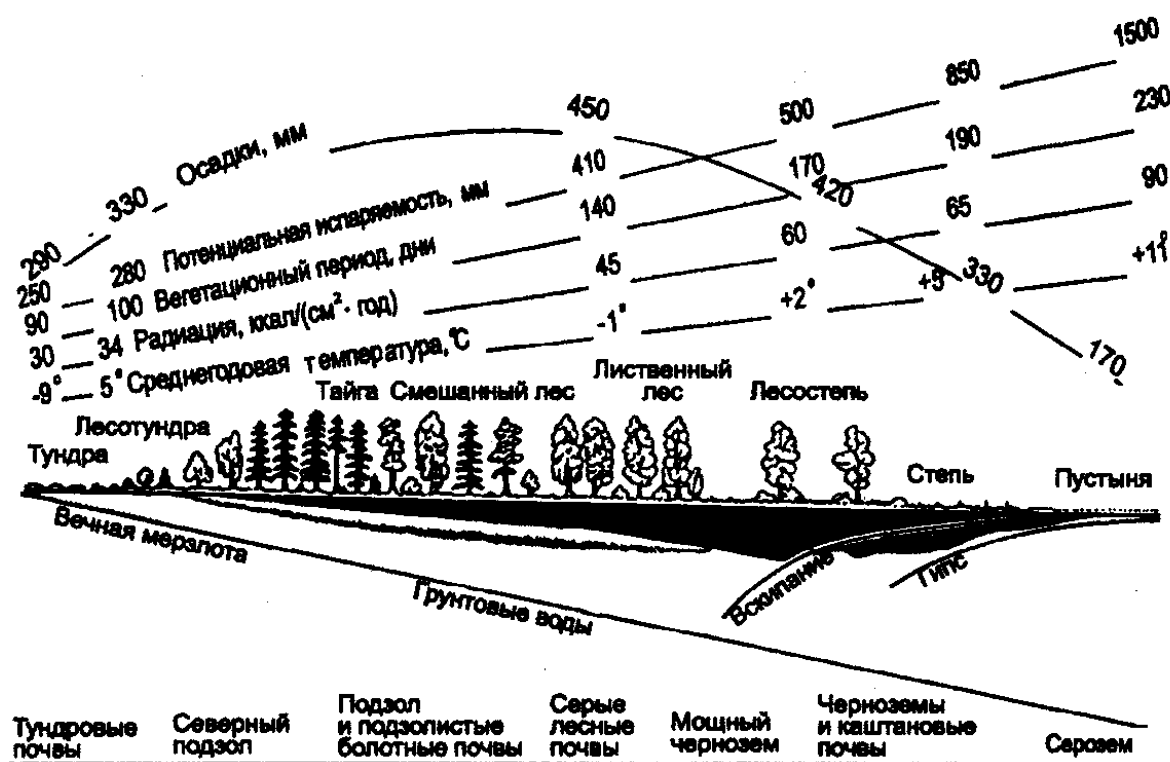


Рис. 5.34. Схема изменения климата, растительности и почв вдоль профиля через основные ландшафты Европейской части России с северо-запада на юго-восток до Прикаспийской низменности (по В. Н. Сукачеву, 1934)

Примечание: там, где кривая осадков пересекает восходящую линию испаряемости, расположена граница между гумидным (слева) и аридным (справа) климатом. Черным показан гумусовый горизонт, штриховкой — иллювиальный горизонт

Каждое местообитание характеризуется определенным экологическим

климатом, т. е. климатом приземного слоя воздуха, или *экоклиматом*.

Большое влияние на климатические факторы оказывает растительность. Так, под пологом леса влажность воздуха всегда выше, а колебания температуры меньше, чем на полянах. Отличается и световой режим этих мест. В разных растительных ассоциациях формируется свой режим света, температуры, влажности, т. е. своеобразный *фитоклимат*.

Для полной характеристики климатических условий того или иного местообитания не всегда достаточно данных экоклимата или фитоклимата. Местные элементы среды (рельеф, экспозиция, растительность и т. п.) очень часто так изменяют в конкретном участке режим света, температуры, влажности, движение воздуха, что он значительно может отличаться от климатических условий местности. Локальные модификации климата, складывающиеся в приземном слое воздуха, называют *микроклиматом*. Например, условия жизни, окружающие личинок насекомых, живущих под корой дерева, иные, чем в лесу, где это дерево растет. Температура южной стороны ствола может быть на 10 — 15°C выше температуры ее северной стороны. Устойчивым микроклиматом обладают заселенные животными норы, дупла деревьев, пещеры. Четких же различий между экоклиматом и микроклиматом не существует. Считается, что экоклимат — это климат больших территорий, а микроклимат — климат отдельных небольших участков. Микроклимат оказывает влияние на живые организмы той или иной территории, местности (рис. 5.35).

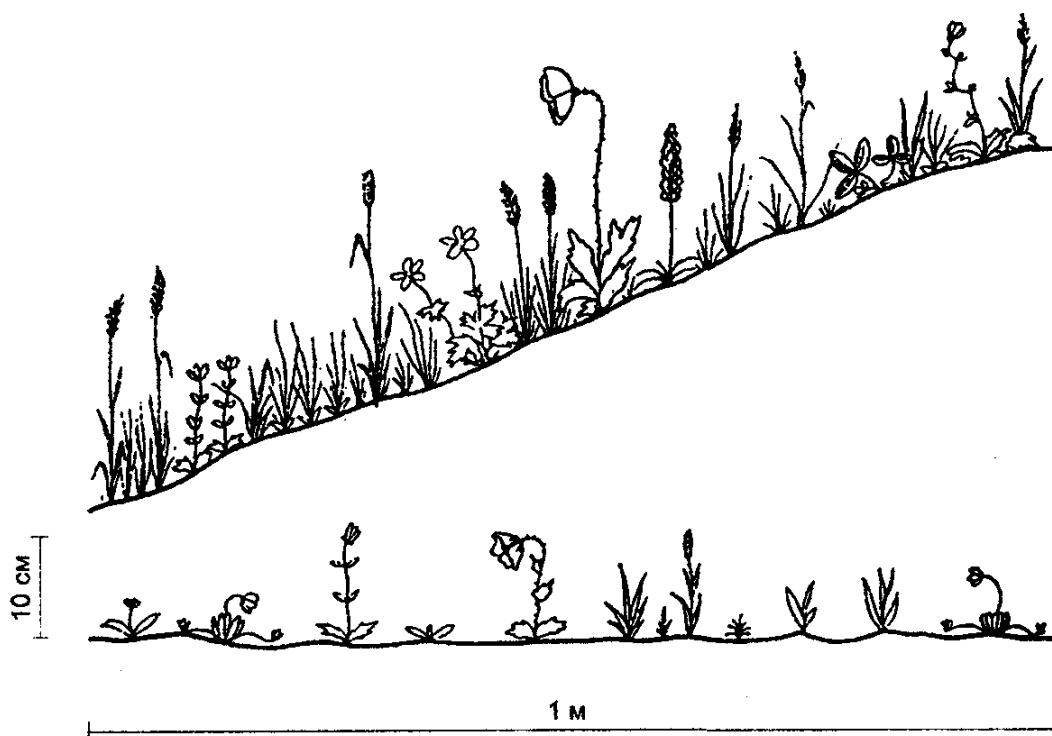


Рис. 5.35. Влияние микроклимата на растительность в тундре
(по Ю. И. Чернову, 1979):

вверху — хорошо прогреваемый склон южной экспозиции;

внизу — горизонтальный участок плакора (флористический состав на обоих участках одинаков)

Наличие в одной местности многих микроклиматов обеспечивает сосуществование видов, обладающих неодинаковыми требованиями к внешней среде.

Географическая поясность и зональность. Распространение живых организмов на Земле тесно связано с географическими поясами и зонами. Пояса имеют широтное простираие, что, естественно, обусловлено в первую очередь радиационными рубежами и характером атмосферной циркуляции. На поверхности земного шара выделяют 13 географических поясов, имеющих распространение на материках и океанах (рис. 5.36).

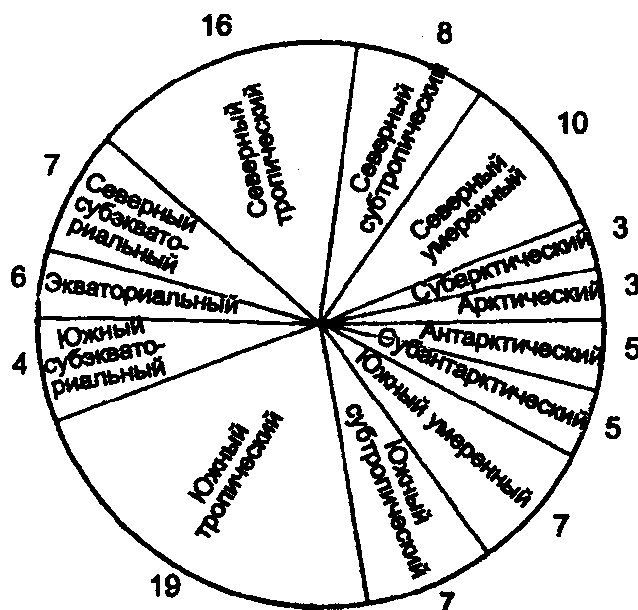


Рис. 5.36. Соотношение площадей суши, занятых различными физико-географическими поясами, в % (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Это такие, как *арктический*, *антарктический*, *субарктический*, *субантарктический*, *северный* и *южный умеренные*, *северный* и *южный субарктические*, *северный* и *южный тропические*, *северный* и *южный субэкваториальные* и *экваториальный*. Внутри поясов выделяют *географические зоны*, где наравне с радиационными условиями принимаются во внимание увлажнение емной поверхности и соотношение тепла и влаги, свойственные данной зоне. В отличие от океана, где обеспеченность влагой полная, на материках соотношение тепла и влаги может иметь значительные отличия. Отсюда географические пояса распространяются на материки и океаны, а географические зоны — только на материки. Различают *широтные* и *меридиальные* или *долготные природные зоны*. Первые тянутся с запада на восток, вторые — с севера на юг. В долготном направлении широтные зоны подразделяются на *подзоны*, а в широтном — на *провинции*.

Основоположником учения о природной зональности является В. В. Докучаев (1846—1903), который обосновал зональность как всеобщий закон

природы. Этому закону подчинены все явления в пределах биосферы. Основные причины зональности — форма Земли и ее положение относительно солнца. На распределение тепла на Земле помимо широтности влияют характер рельефа и высота местности над уровнем моря, соотношение суши и моря, морские течения и др.

В дальнейшем радиационные основы формирования зональности земного шара были разработаны А. А. Григорьевым и М. И. Будыко. Для установления количественной характеристики соотношения тепла и влаги для различных географических зон ими были определены некоторые коэффициенты. Соотношение тепла и влаги выражено отношением радиационного баланса поверхности к скрытой теплоте испарения и сумме осадков (радиационный индекс сухости). Был установлен закон, получивший название закона периодической географической зональности (А. А. Григорьева — М. И. Будыко), который гласит, что со сменой географических поясов аналогичные географические (ландшафтные, природные) зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются.

Каждая зона приурочена к определенному интервалу значений-показателей: особый характер геоморфологических процессов, особый тип климата, растительности, почв и животного мира. На территории бывшего СССР отмечали следующие географические зоны: *ледяную, тундры, лесотундры, тайги, смешанных лесов. Русской равнины, муссонных смешанных лесов Дальнего Востока, лесостепей, степей, полупустынь, пустынь умеренного пояса, пустынь субтропического пояса, средиземноморского и влажных субтропиков.*

Одним из важных условий изменчивости организмов и их зонального размещения на земле служит изменчивость химического состава среды. В этом отношении большое значение имеет учение А. П. Виноградова о *биогеохимических провинциях*, которые определяются зональностью химического состава почв, а также климатической, фитогеографической и геохимической зональностью биосферы. *Биогеохимические провинции — это области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в почвах, водах и т. д.) химических соединений, с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны.*

Наряду с горизонтальной зональностью в наземной среде четко проявляется *высотная или вертикальная* поясность.

Растительность горных стран более богата, чем на прилегающих равнинах, и характеризуется повышенным распространением эндемических форм. Так, по данным О. Е. Агаханянца (1986), флора Кавказа насчитывает 6350 видов, из которых 25% эндемичны. Флора гор Средней Азии оценивается в 5500 видов, из них 25—30% эндемики, в то время как на прилегающих равнинах южных пустынь насчитывается 200 видов растений.

При подъеме в горы повторяется та же смена зон, что и от экватора к полюсам. У подножия обычно располагаются пустыни, затем степи, широколиственные леса, хвойные леса, тундра и, наконец, льды. Однако полной аналогии все же нет. При подъеме в горы понижается температура

воздуха (средний градиент температуры воздуха 0,6 °С на 100 м), снижается испаряемость, усиливаются ультрафиолетовая радиация, освещенность и т. д. Все это заставляет растения приспосабливаться к сухой или влажной среде. Здесь доминируют среди растений подушкообразные жизненные формы, многолетники, у которых выработана адаптация к сильной ультрафиолетовой радиации и снижению транспирации.

Своеобразен и животный мир высокогорных районов. Пониженное давление воздуха, значительная солнечная радиация, резкие колебания дневных и ночных температур, изменение влажности воздуха с высотой способствовали выработке специфических физиологических адаптаций организма горных животных. Например, у животных увеличивается относительный объем сердца, возрастает содержание гемоглобина в крови, что позволяет более интенсивно поглощать кислород из воздуха. Каменистый грунт осложняет или почти исключает норную деятельность животных. Многие мелкие животные (мелкие грызуны, пищухи, ящерицы и др.) находят убежища в расщелинах скал, в пещерах. Из птиц для горных районов характерны горные индейки (улары), горные вьюрки, жаворонки, из крупных птиц — бородачи, грифы, кондоры. В горах из крупных млекопитающих обитают бараны, козлы (в том числе и снежные козлы), серны, яки и др. Хищники представлены такими видами, как волки, лисицы, медведи, рыси, снежный барс (ирбис) и т. д.

5.3. Почва как среда жизни

Общая характеристика. Почва — основа природы суши. Можно до бесконечности поражаться самому факту, что наша планета Земля единственная из известных планет, которая имеет удивительную плодородную пленку — почву. Как произошла почва? На этот вопрос впервые ответил великий русский ученый-энциклопедист М. В. Ломоносов в 1763 г. в своем знаменитом трактате «О слоях земли». Почва, писал он, не первозданная материя, а произошла она «от согнития животных и растительных тел... долгою времени». В. В. Докучаев (1846—1903) в классических работах о почвах России впервые стал рассматривать почву как динамическую, а не инертную среду. Он доказал, что почва не мертвый организм, а живой, населенный многочисленными организмами, она сложна по своему составу. Им было выявлено пять главных почвообразующих факторов, к которым относятся климат, материнская порода (геологическая основа), топография (рельеф), живые организмы и время.

Очень сложные химические, физические, физико-химические и биологические процессы протекают в поверхностном слое горных пород на пути их превращения в почву. Н. А. Качинский в своей книге «Почва, ее свойства и жизнь» (1975) дает следующее определение почвы: «Под почвой надо понимать все поверхностные слои горных пород, переработанные и измененные совместным воздействием климата (свет, тепло, воздух, вода), растительных и животных организмов, а на окультуренных территориях и деятельностью человека, способные давать урожай. Та минеральная порода, на

которой почва образовалась и которая как бы родила почву, называется материнской породой».

По Г. Добровольскому (1979), «почвой следует называть поверхностный слой земного шара, обладающий плодородием, характеризующийся органо-минеральным составом и особым, только ему присущим профильным типом строения. Почва возникла и развивается в результате совокупного воздействия на горные породы воды, воздуха, солнечной энергии, растительных и животных организмов. Свойства почвы отражают местные особенности природных условий». Таким образом, свойства почвы в своей совокупности создают определенный экологический режим ее, основными показателями которого служат гидротермические факторы и аэрация.

В состав почвы входят четыре важных структурных компонента: минеральная основа (обычно 50 — 60% общего состава почвы), органическое вещество (до 10%), воздух (15 — 25%) и вода (25—35%).

Минеральная основа (минеральный скелет) почвы — это неорганический компонент, образовавшийся из материнской породы в результате ее выветривания. Минеральные фрагменты, образующие вещество почвенного скелета, различны — от валунов и камней до песчаных крупинок и мельчайших частиц глины. Скелетный материал обычно произвольно разделяют на мелкий грунт (частицы менее 2 мм) и более крупные фрагменты. Частицы меньше 1 мкм в диаметре называют коллоидными. Механические и химические свойства почвы в основном определяются теми веществами, которые относятся к мелкому грунту.

Структура почвы определяется относительным содержанием в ней песка и глины. На рис. 5.37 изображен стандартный «треугольник почвенной структуры» и указаны границы одиннадцати структурных классов.

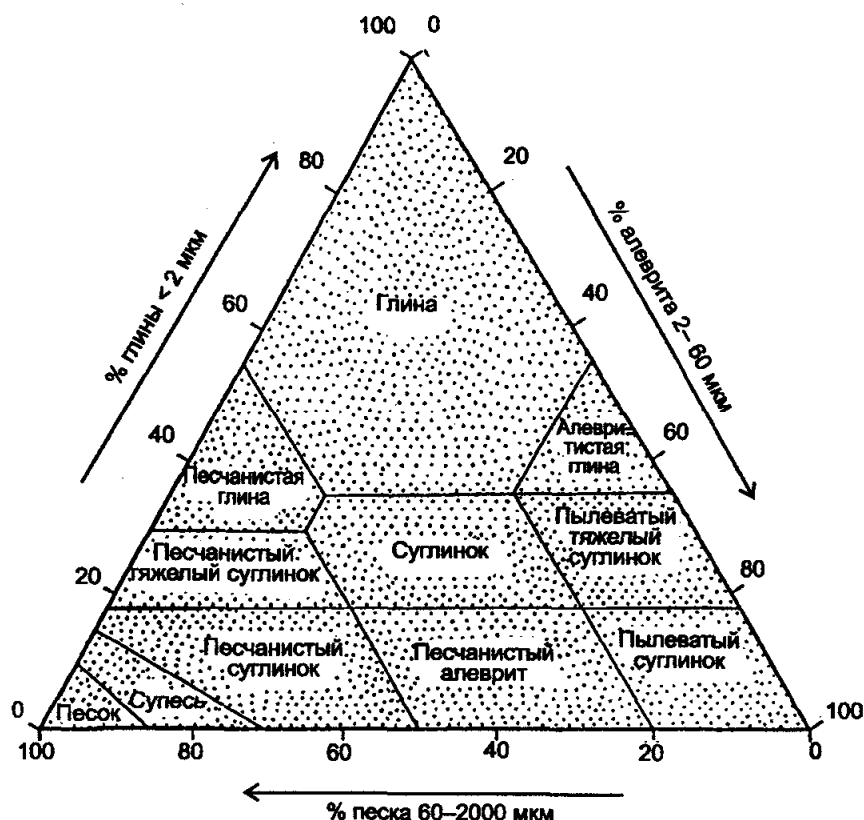


Рис. 5.37. Треугольная диаграмма классов почв (по Б. Небелу 1993).

Идеальная почва должна содержать приблизительно равные количества глины и песка с частицами промежуточных размеров. В этом случае образуется пористая, крупитчатая структура, и почва называется *суглинками*. Они обладают достоинствами двух крайних типов почв и не имеют их недостатков. Средне- и мелкоструктурные почвы (глины, суглинки, алевриты) обычно более пригодны для роста растений благодаря содержанию в достаточном количестве питательных веществ и способности удерживать воду.

В почве, как правило, выделяют три основных горизонта, различающиеся по морфологическим и химическим свойствам:

1. *Верхний перегнойно-аккумулятивный горизонт (A)*, в котором накапливается и преобразуется органическое вещество и из которого промывными водами часть соединений выносятся вниз.

2. *Горизонт вымывания, или иллювиальный (B)*, где оседают и преобразуются вымытые сверху вещества. 3. *Материнскую породу или горизонт (C)*, материал которой преобразуется в почву. В пределах каждого горизонта выделяют более дробные слои, также сильно различающиеся по свойствам (рис. 5.38).

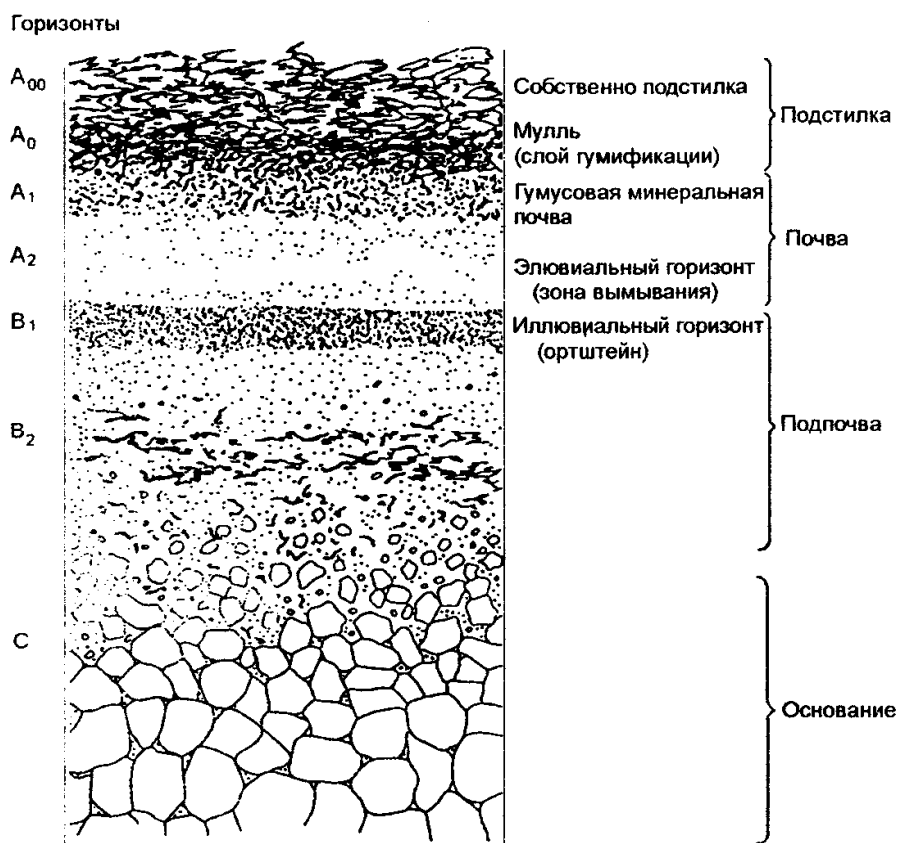


Рис. 5.38. Обобщенная схема почвенного профиля

Основные типы почв. К основным типам почв на территории России относятся черноземы, подзолистые, дерновоподзолистые, подзолисто-болотные, болотные, серые лесостепные, пойменные, солончаки, солонцы, солоды и др.

Химизм почв частично определяется минеральным скелетом, частично органическим веществом, о котором речь пойдет несколько ниже. Большая часть минеральных компонентов представлена в почве кристаллическими структурами. Это устойчивые продукты выветривания материнской породы. Песок и алеврит состоят главным образом из кварца (SiO_2), называемого также кремнеземом. Кремнезем служит источником силикат-ионов (SiO_4^{4-}), которые обычно соединяются с катионами, особенно с катионами алюминия (Al^{3+}) и железа (Fe^{3+} , Fe^{2+}), и образуют электронейтральные кристаллы. Силикаты являются преобладающими почвенными минералами.

Большую роль в удержании воды и питательных веществ играет особенно многочисленная и важная группа илистых минералов. Большинство их встречается в виде мельчайших плоских кристаллов, часто шестиугольной формы, образующих в воде коллоидную суспензию. В связи с очень малыми размерами частиц почвенные коллоиды имеют огромную суммарную поверхность — на 1 см^3 почвы около 6 тыс. м^2 , или более половины гектара. Этим объясняется их большая способность к физической адсорбции — поглощению и удержанию воды, растворенных в ней питательных веществ на

своей поверхности. Физическая адсорбция определяет *поглотельную способность почвы*. Данная часть почвы (коллоиды и тончайшие частицы ила) получила название *почвенного поглощающего комплекса*.

Для почвы характерна биогенная аккумуляция химических элементов под влиянием растительности, которая отсутствует в коре выветривания. Подвижность ряда элементов фосфора, калия, кремния и др. в процессах выветривания и биогенной аккумуляции различна. *Химизм почвенного раствора* является для почвенных организмов экологическим фактором первостепенной важности. Так, на рост растений оказывает значительное влияние реакция почвенного раствора (рН), связанная с содержанием в почве кислот (угольная кислота, фульвокислоты в глеево-подзолистых почвах) или щелочей (сода в солонцах). Реакция сильно зависит и от состава ионов, входящих в почвенный поглощающий комплекс. Обилие ионов водорода или алюминия вызывает кислую реакцию, ионов натрия — щелочную. Высокой кислотностью отличаются подзолистые и болотные почвы, щелочностью — солонцы. Черноземы имеют реакцию, близкую к нейтральной.

Для почвенного питания растений исключительно важен солевой режим почвы, характеризующийся содержанием и доступностью в почвенном растворе солей элементов, необходимых для жизнедеятельности растений (азота, калия, фосфора, кальция, серы, железа и др.). Такие вещества, как железо, алюминий, обычно содержатся в почве в достаточных количествах для питания растений, другие — азот, фосфор, калий — потребляются растениями в небольших дозах, часто оказываются в недостатке. Для нормального течения многих физиологических процессов растения существенное значение имеет обеспеченность почвы микроэлементами — медью, бором, марганцем, цинком и др. 25% всех почв нашей планеты в той или иной мере засолено. Избыток солей в почвенном растворе токсичен для большинства растений. Наиболее вредны легкорастворимые соли, без труда проникающие в цитоплазму: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 . Менее токсичны труднорастворимые соли: CaSO_4 , MgSO_4 , CaCO_3 .

Среди разных типов засоленных почв основные — солончаки и солонцы, имеющие неодинаковый солевой и водный режимы. *Солончаки* — это почвы, постоянно и сильно увлажненные солеными водами вплоть до поверхности, например, вокруг горько-соленых озер. Концентрация солей в почвенном растворе достигает нескольких десятков процентов. Ионы натрия находятся не только в растворе, но и насыщают коллоиды почвенного поглощающего комплекса. Летом с поверхности солончаки высыхают, покрываясь корочкой солей. *Солонцы* с поверхности не засолены, верхний слой выщелоченный, бесструктурный. Нижние горизонты уплотнены и насыщены ионами натрия, при высыхании растрескиваются на столбы, глыбы и т. д. Водный режим характеризуется резкими изменениями: весной из-за водонепроницаемости часто наблюдается поверхностное застаивание влаги, летом — сильное пересыхание. Есть ряд промежуточных типов почв: солончаковатые солонцы, солонцеватые, со-лончаковатые и т. д.

Органическое вещество почвы. Животные и растения, обитающие на

почве и в почве, постоянно воздействуют на субстрат, забирая у него питательные вещества. Поэтому каждый раз нарушается только что установившееся химическое равновесие в почве, происходит дальнейшее углубление процессов разложения и выветривания.

Из отмерших растений образовавшаяся органическая субстанция попадает в виде опада листвы и хвои в почву, перерабатывается микроорганизмами и превращается непосредственно или через животные организмы в почвенный гумус. Таким путем она вновь вовлекается в минеральный или пищевой круговорот и может быть в обновленном виде усвоена растениями.

Каждому типу почв соответствует определенный животный мир и определенная растительность. Отмирающие или уже отмершие организмы или их части накапливаются на поверхности и внутри почвы, образуя органическое вещество. Совокупность живущих в почве организмов называют *эдафоном* (рис. 5.39).

Несмотря на то, что число микроорганизмов в 1 дм³ почвы измеряется миллионами, в общей массе они составляют только 5% суммарного количества органических соединений. Минеральная субстанция почвы занимает 93%. Органическое вещество почвы, состоящее из отмерших остатков растений и животных, называют *гумусом*. Таким образом, процесс гумусообразования начинается разрушением и измельчением растительной массы и мертвого животного вещества. Этот процесс осуществляется позвоночными животными при обязательном участии грибов и бактерий. К таким животным относятся: *фитофаги*, питающиеся тканями живых растений; *сапрофаги*, потребляющие мертвые вещества растений, *некрофаги*, питающиеся трупами животных; *хищники*, поедающие живых животных; *копрофаги*, уничтожающие экскременты животных. Все они составляют сложную систему, получившую название *сапрофильного комплекса* животных.

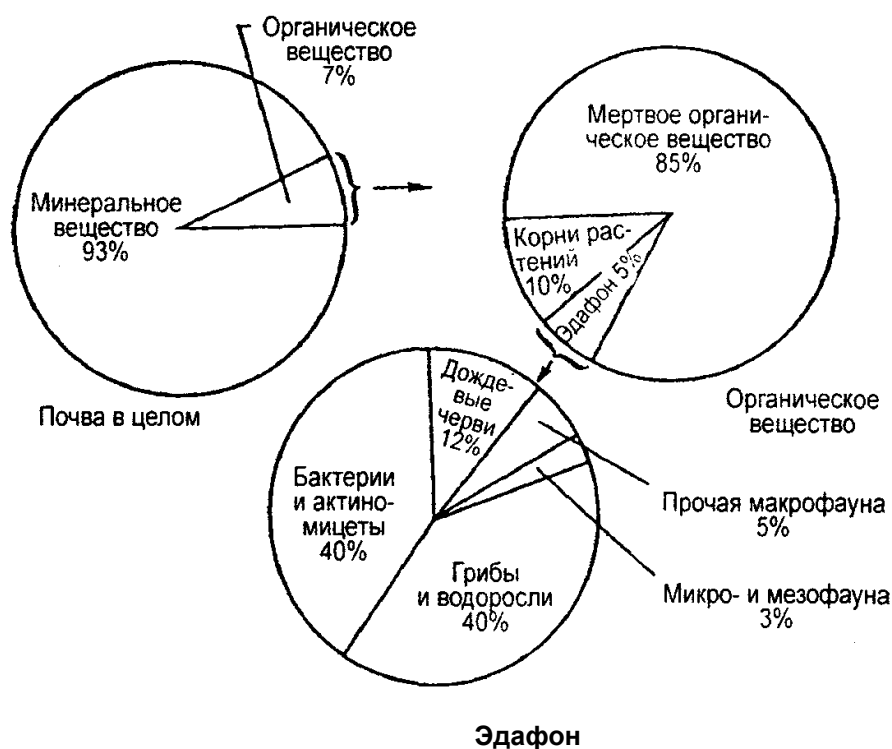


Рис. 5.39. Общий состав верхнего слоя почвы и его эдафона (по В. Тишлеру, 1955)

Большую роль в разрыхлении почвы, механическом перемещении органического и минерального вещества играют подвижные почвенные животные (дождевые черви, грызуны и др.). В круговороте веществ в почве растения синтезируют органическое вещество.

Животные производят механическое и биохимическое разрушение его и тем самым подготавливают его для гумусообразования. Микроорганизмы синтезируют почвенный гумус и затем разлагают его.

Гумус различают по виду, форме и характеру составляющих его элементов (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Важнейшие формы гумуса (по Г. Францу, 1960)

Форма гумуса	рН	С/Н	Минерализация или гумификация
Грубый гумус	3,5—4,5	30—40	Медленная
Модер	4—5	20—25	Средняя
Муль	5,5—7	10—20	Быстрая

Эти элементы могут принадлежать к группе *гуминовых* или *негуминовых* веществ. Негуминовые вещества образуются из соединений, входящих в состав живых растений и животных, например, белки и углеводы. Данные вещества, разлагаясь, выделяют двуокись углерода, воду и аммиак. Энергия, образующая при этом, используется почвенными организмами. Распад негуминовых веществ сопровождается полной минерализацией элементов питания, что препятствует дальнейшему накоплению в почве устойчивого органического

вещества. Напротив, гуминовые вещества в результате жизнедеятельности микроорганизмов перерабатываются в новые, обычно высокомолекулярные соединения — гуминовые кислоты или фульвокислоты.

В качестве разновидностей гумуса различают гумус *питательный и устойчивый*. Питательный гумус легко перерабатывается и служит микроорганизмам источником питания, а устойчивый гумус с трудом поддается переработке и выполняет прежде всего физические и химические функции, контролируя баланс питательного вещества, количество воды и воздуха в почве. Таким образом, гумус служит основным поставщиком и резервом элементов питания растений. Темный цвет гумуса способствует лучшему прогреванию почвы, а его высокая влагоемкость — удержанию воды почвой. Гумус прочно склеивает минеральные частицы, образуя комочки, улучшающие структуру почвы. Данные свойства благоприятствуют условиям роста растений на почвах, богатых гумусом. Важнейшим свойством почвы является ее *плодородие* — способность обеспечивать растения водой, элементами питания и воздухом. Мощность гумусового слоя и содержание гумуса в почве являются одним из важнейших показателей уровня плодородия почв. В подзолистых почвах северных районов России содержится 1—3% гумуса, в более плодородных почвах лесостепной зоны — 4—6%. Наиболее богаты гумусом черноземы (обыкновенные — 7—8%, тучные — 8—12%).

Так, *чернозем обыкновенный тучный глинистый* содержит до 70% физической глины, богат карбонатами. Формирующиеся на глине обыкновенные черноземы имеют гумусовый горизонт глубиной 60-70 см, содержание гумуса нередко превышает 10%. Количество гумуса в метровом слое достигает 600—700 т/га, иногда до 800 т/га. Эти черноземы имеют хорошо выраженную водопрочную комковато-зернистую структуру. *Чернозем обыкновенный среднегумусовый на тяжелом лессовидном суглинке* широко распространен в правобережной части Саратовской области. Мощность гумусового горизонта не превышает 50—55 см. Содержание гумуса в горизонте около 7-8%, запасы в метровом слое 400—450 т/га. *Чернозем обыкновенный среднегумусовый среднемоощный* приурочен к предбалочным понижениям и малозаметным впадинам на плато и склонах.

В Курганской области из 3,0 млн га пашни черноземы (обыкновенные, солонцеватые, карбонатные, осолоделые, выщелоченные) занимают 65,3%, в комплексе с солонцами — 8,7, серые лесные — 5,0, черноземно-луговые и лугово-черноземные — 4,2, солоды — 0,4, солонцы — 14,9, солончаки — 0,3, пойменные и прочие — 1,2%. Содержание гумуса в почвах колеблется от 4-6 (черноземы обыкновенные) до 1% (солоды). По механическому составу 63,8% всех почв пашни относятся к тяжелосуглинистым, глинистым и тяжелоглинистым, 35,1 — к средне- и легкосуглинистым, 1,1% — к песчаным и супесчаным.

Для того чтобы формировался гумус того или иного типа, необходим достаточный дренаж почвы. В условиях переувлажнения разложение идет очень медленно, так как нехватка кислорода ограничивает рост аэробных редуцентов. В таких условиях растительные и животные остатки сохраняют

свою структуру и, постепенно спрессовывая, образуют торф, который может накапливаться вплоть до больших глубин.

Влажность и аэрация. Как нами было отмечено при изучении наземно-воздушной среды жизни, по физическому состоянию, подвижности, доступности и значению для растений почвенная вода подразделяется на гравитационную, гигроскопическую и капиллярную (рис. 5.40).

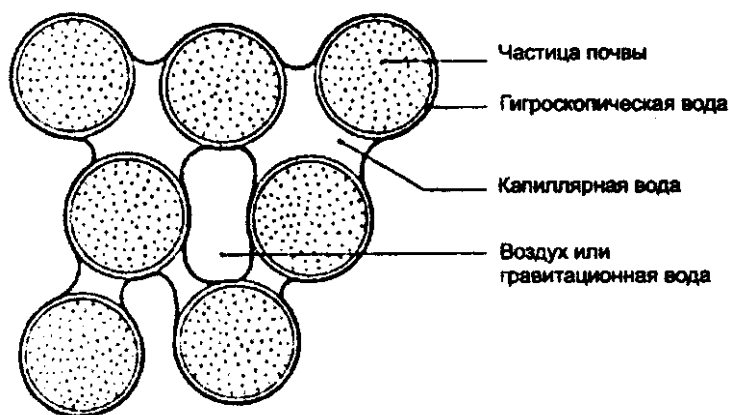


Рис. 5.40. Три типа почвенной воды

Гравитационная вода — подвижная вода, является основной разновидностью свободной воды, которая заполняет широкие промежутки между частицами почвы и просачивается вниз сквозь почву под действием силы тяжести, Рис. 5.40. Три типа почвенной воды пока не достигнет грунтовых вод. Растения легко усваивают гравитационную воду, когда она находится в зоне корневой системы. С этой точки зрения для растений весьма важен полив почвы, смачивание ее водой.

Вода в почве удерживается также вокруг отдельных коллоидных частиц в виде тонкой прочной связанной пленки. Такую воду называют *гигроскопической*. Она адсорбируется за счет водородных связей на поверхности глины и кварца или на катионах, связанных с глинистыми минералами и гумусом. Гигроскопическая вода высвобождается только при температуре 105—110°C и физиологически практически недоступна растениям. Количество гигроскопической воды зависит от содержания в почве коллоидных частиц. В глинистых почвах ее содержится около 15%, в песчаных около 5% массы почвы. Она образует так называемый мертвый запас воды в почве.

По мере того как накапливаются слои воды вокруг почвенных частиц, она начинает заполнять сначала узкие поры между этими частицами, а затем распространяется во все более широкие поры. Гигроскопическая вода постепенно переходит в *капиллярную*, удерживающуюся вокруг почвенных частиц силами поверхностного натяжения. Капиллярная вода может подниматься по узким порам и каналцам от уровня грунтовых вод благодаря высокому поверхностному натяжению воды. Растения легко поглощают капиллярную воду, играющую наибольшую роль в регулярном снабжении их водой. Капиллярная вода в отличие от гигроскопической легко испаряется.

Тонкоструктурные почвы, например глины, удерживают больше капиллярной воды, чем грубоструктурные, такие, как пески.

Помимо перечисленных форм воды в почве содержится *парообразная влага*, занимающая все свободные от воды поры.

Проследим путь, который совершает вода, достигнув поверхности земли, рассмотрим значение влажности и аэрации почвы как среды жизни. Вода, просачивающаяся в почву, достигает зеркала грунтовых вод или заполняет трещины и щели в плотных кристаллических и сланцевых породах.

Однако часть осадков, проникающая в грунт с поверхности, не достигает уровня грунтовых вод, а создает полезную для растений почвенную влагу. Почвенная влага под влиянием присущих почве динамических сил как бы подвешена над зеркалом грунтовых вод. Инфильтрационная вода в конечном итоге — в форме медленно или быстро текущего потока подземных вод, прошедшего более далекий или более близкий путь, — может вновь перейти в поверхностный сток в виде источников или ключей, бьющих в руслах рек, ручьев, днищах озерных котловин. Существует постоянный обмен поверхностных, почвенных и грунтовых вод, меняющих свою интенсивность и свое направление в зависимости от сезонов года.

Водный и воздушный режимы почвы зависят от вида почвы и содержания в ней гумуса. Последние в свою очередь влияют на пористость, влагоемкость и водопроницаемость почв и тем самым — на их тепловой баланс.

В рыхлой почве (слева) пористость верхнего слоя (до 70 см) составляет 20—30%; воды мало — 10—20%, ее содержание увеличивается только на большой глубине. Обратное соотношение наблюдается у тяжелых почв (справа). Вода заполняет в них практически все поры. Только верхний горизонт глубиной 30 см обеспечен воздухом (не более 15%). Большая примесь как глинистых, так и песчаных частиц снижает качество почвы. Песчаные (легкие) почвы имеют малую влагоемкость. Они слишком быстро высыхают. Глинистые (тяжелые) почвы содержат слишком мало воздуха, поэтому они плохо прогреваются и таким образом задерживают рост растений и деятельность почвенных организмов. Наилучшие условия для роста растений имеют пылеватые суглинки и суглинки, их водные и воздушные режимы оптимальны.

Различают физическую и физиологическую сухость почвы. *При физической сухости* почва испытывает недостаток влаги. Это происходит при атмосферной засухе, когда поступление воды резко сокращается, что обычно наблюдается в сухом климате и в местах, где почва увлажняется только за счет атмосферных осадков. *Физиологическая сухость* почвы — явление более сложное. Оно возникает в результате физиологической недоступности физически доступной воды. Растения при физиологической сухости страдают даже на влажных почвах, когда низкая температура почвенного покрова или другие неблагоприятные условия препятствуют нормальному функционированию корневой системы. Например, на сфагновых болотах, несмотря на большое количество влаги, вода оказывается недоступной для

многих растений из-за высокой кислотности почвы, плохой аэрации ее и наличия токсических веществ, которые нарушают нормальную физиологическую функцию корневой системы. Физиологически сухими являются и сильно засоленные почвы. Из-за высокого осмотического давления почвенного раствора вода засоленных почв для многих растений оказывается недоступной.

Хорошо увлажненная почва легко прогревается и медленно остывает. На поверхности ее происходят более резкие колебания температур, чем в глубине. При этом суточные колебания ее затрагивают слои до глубины 1 м. Если учесть, что зимой температура почвы с глубиной повышается, а летом, наоборот, падает, то легко представить сезонные вертикальные миграции почвенных обитателей, которые вызываются изменением условий среды. Естественно, зимой почвенные животные находятся глубже, чем летом.

Большую роль в формировании почвы играет *рельеф*. На одинаковых и одновозрастных формах рельефа образуются близкие и однотипные почвы. На местности с расчлененным рельефом, неодинаковым уровнем *грунтовых вод* наблюдаются различия в климате, режиме тепла, скорости испарения поверхностной влаги и в распределении атмосферных осадков. Все это существенно влияет на физические и химические свойства почв, а также и на характер растительного покрова и животного мира.

Экологические группы почвенных организмов. Количество организмов в почве огромно (рис. 5.41).



Рис. 5.41. Почвенные организмы (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Растения, животные и микроорганизмы, обитающие в почве, находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и со средой обитания. Данные взаимоотношения сложны и многообразны. Животные и бактерии потребляют растительные углеводы, жиры и белки. Благодаря этим взаимоотношениям и в результате коренных изменений физических, химических и биохимических свойств горной породы в природе постоянно происходят почвообразовательные процессы. В среднем почва содержит 2 — 3 кг/м² живых растений и животных, или 20 — 30 т/га. При этом в умеренном климатическом поясе корни растений составляют 15 т (на 1 га), насекомые — 1 т, дождевые черви — 500 кг, нематоды — 50 кг, ракообразные — 40 кг, улитки, слизни — 20 кг, змеи, грызуны — 20 кг, бактерии — 3 т, грибы — 3 т, актиномицеты — 1,5 т, простейшие — 100 кг, водоросли — 100 кг.

Несмотря на неоднородность экологических условий в почве, она выступает как достаточно стабильная среда, особенно для подвижных организмов. Крупный градиент температур и влажности в почвенном профиле позволяет почвенным животным путем незначительных перемещений обеспечить себе подходящую экологическую обстановку.

Неоднородность почвы приводит к тому, что для организмов разных размеров она выступает как разная среда. Для микроорганизмов особое значение имеет огромная суммарная поверхность почвенных частиц, потому что на них адсорбируется подавляющая часть микроорганизмов. Сложность почвенной среды создает большое разнообразие для самых разных функциональных групп: аэробов, анаэробов, потребителей органических и минеральных соединений. Для распределения микроорганизмов в почве характерна мелкая очаговость, так как на протяжении нескольких миллиметров могут сменяться разные экологические зоны.

По степени связи с почвой как средой обитания животных объединяют в три экологические группы: геобионты, геофилы и геоксены.

Геобионты — животные, постоянно обитающие в почве. Весь цикл их развития протекает в почвенной среде. Это такие, как дождевые черви (*Lymbricidae*), многие первичнобескрылые насекомые (*Apterygota*).

Геофилы — животные, часть цикла развития которых (чаще одна из фаз) обязательно проходит в почве. К этой группе принадлежит большинство насекомых: саранчовые (*Acridoidea*), ряд жуков (*Staphylinidae*, *Carabidae*, *Elateridae*), комары-долгоножки (*Tipulidae*). Их личинки развиваются в почве. Во взрослом же состоянии это типичные наземные обитатели. К геофилам принадлежат и насекомые, которые в почве находятся в фазе куколки.

Геоксены — животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища. К геоксенам из насекомых относятся таракановые (*Blattodea*), многие полужесткокрылые (*Hemiptera*), некоторые развивающиеся вне почвы жуки. Сюда же относятся грызуны и другие млекопитающие, живущие в норах.

Вместе с тем приведенная классификация не отражает роли животных в почвообразовательных процессах, так как в каждой группе есть организмы,

активно передвигающиеся и питающиеся в почве и пассивные, которые пребывают в почве в период отдельных фаз развития (личинки, куколки или яйца насекомых). Почвенных обитателей в зависимости от их размеров и степени подвижности можно разделить на несколько групп.

Микробиотин, микробиота — это почвенные микроорганизмы, составляющие основное звено детритной пищевой цепи, представляют собой как бы промежуточное звено между растительными остатками и почвенными животными. Сюда относятся прежде всего зеленые (*Chlorophyta*) и сине-зеленые (*Cyanophyta*) водоросли, бактерии (*Bacteria*), грибы (*Fungi*) и простейшие (*Protozoa*). По существу можно сказать, что это водные организмы, а почва для них — это система микроводоемов. Они живут в почвенных порах, заполненных гравитационной или капиллярной водой, как и микроорганизмы, часть жизни могут находиться в адсорбированном состоянии на поверхности частиц в тонких прослойках пленочной влаги. Многие из них обитают и в обычных водоемах. Вместе с тем почвенные формы обычно мельче пресноводных и отличаются способностью значительное время находиться в инцистированном состоянии, переживая неблагоприятные периоды. Так, пресноводные амёбы имеют размеры 50—100 мкм, почвенные — 10—15 мкм. Жгутиковые не превышают 2—5 мкм. Почвенные инфузории также имеют мелкие размеры и могут в значительной степени менять форму тела.

Мезобиотин, мезобиота — это совокупность сравнительно мелких, легко извлекающихся из почвы, подвижных животных. Сюда относятся почвенные нематоды (*Nematoda*), мелкие личинки насекомых, клещи (*Oribatei*), ногохвостки (*Collembola*) и др. Эта группа весьма многочисленна — от десятков и сотен тысяч до миллионов особей на 1 м² почвы. Питаются в основном детритом и бактериями. Клещи и насекомые нередко являются хищниками. Отдельные виды нематод паразитируют в корнях растений, зачастую сильно их повреждая.

Для данной группы животных почва представляется как система мелких пещер. У них нет специальных приспособлений к рытью. Они ползают по стенкам почвенных полостей при помощи конечностей или червеобразно извиваясь. Насыщенный водяными парами почвенный воздух позволяет им дышать через покровы тела. Нередко виды животных этой группы не имеют трахейной системы и весьма чувствительны к высыханию. Средством спасения от колебаний влажности воздуха для них является передвижение вглубь. Более крупные животные имеют некоторые приспособления, которые позволяют переносить в течение некоторого времени снижение влажности почвенного воздуха: защитные чешуйки на теле, частичная непроницаемость покровов и др.

Периоды затопления почвы водой животные переживают, как правило, в пузырьках воздуха. Воздух задерживается вокруг их тела из-за несмачиваемости покровов, снабженных у большинства из них волосками, чешуйками и т. д. Пузырек воздуха играет для животного своеобразную роль «физической жабры». Дыхание осуществляется за счет кислорода, диффундирующего в воздушную прослойку из окружающей среды. Животные

мезо- и микробиотипов способны переносить зимнее промерзание почвы, что особенно является важным, так как большинство из них не может уходить вниз из слоев, подвергающихся воздействию отрицательных температур.

Макробиотип, макробиота — это крупные почвенные животные: с размерами тела от 2 до 20 мм. К данной группе относятся личинки насекомых, многоножки, энхитреиды, дождевые черви и др. Почва для них является плотной средой, оказывающей значительное механическое сопротивление при движении. Они передвигаются в почве, расширяя естественные скважины путем раздвижения почвенных частиц, роя новые ходы. Оба способа передвижения накладывают отпечаток на внешнее строение животных. У многих видов развиты приспособления к экологически более выгодному типу передвижения в почве — рытью с закупориванием за собой хода. Газообмен большинства видов данной группы осуществляется при помощи специализированных органов дыхания, но наряду с этим дополняется газообменом через покровы. У дождевых червей и энхитреид отмечается исключительно кожное дыхание. Роющие животные могут уходить из слоев, где возникает неблагоприятная обстановка. К зиме и в засуху они концентрируются в более глубоких слоях, большей частью в нескольких десятках сантиметров от поверхности.

Мегабиотип, мегабиота — это крупные землерои, главным образом из числа млекопитающих (рис. 5.42).

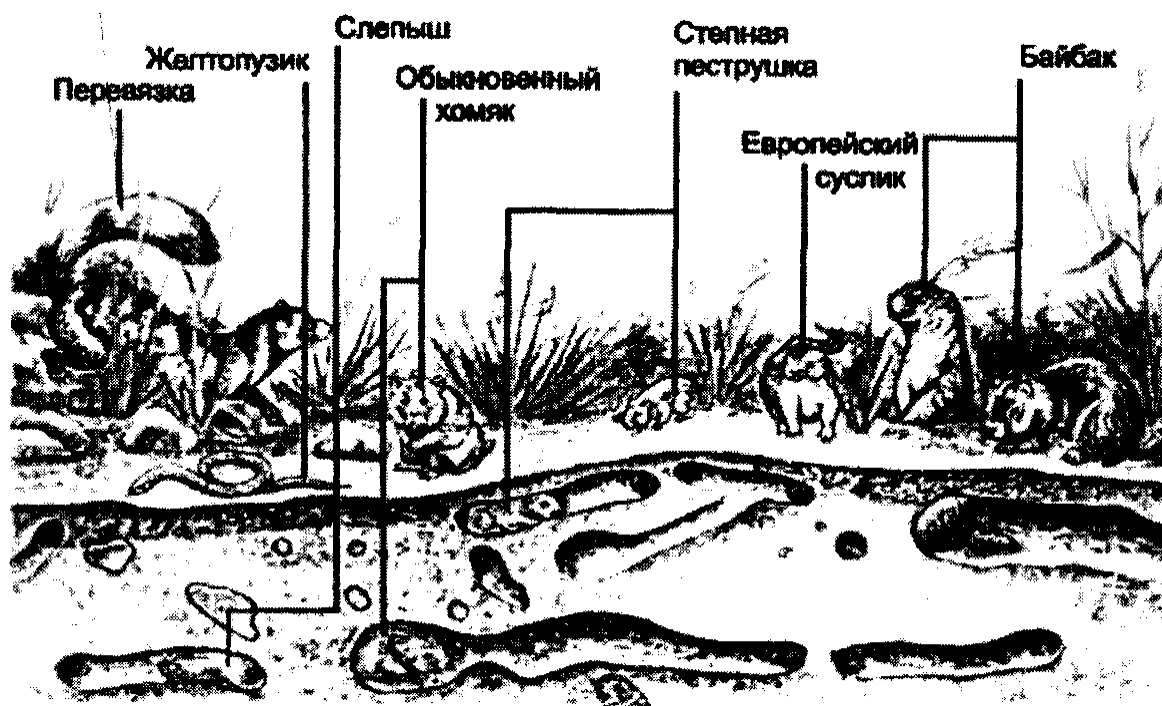


Рис. 5.42. Роющая деятельность норных животных в степи

Многие из них проводят в почве всю жизнь (златокроты в Африке, кроты Евразии, сумчатые кроты Австралии, слепыши, слепушонки, цокоры и т. п.). Они прокладывают в почве целые системы ходов и нор. Приспособленность к роющему подземному образу жизни находит отражение во внешнем облике и

анатомических особенностях этих животных: недоразвиты глаза, компактное вальковатое тело с короткой шеей, короткий густой мех, сильные компактные конечности с крепкими когтями.

Помимо постоянных обитателей почвы, среди группы животных нередко выделяют в отдельную экологическую группу *обитателей нор*. К данной группе животных относятся барсуки, сурки, суслики, тушканчики и др. Они кормятся на поверхности, однако размножаются, зимуют, отдыхают, спасаются от опасности в почве. Ряд других животных используют их норы, находя в них благоприятный микроклимат и укрытие от врагов. Обитатели нор, или норники, имеют черты строения, характерные для наземных животных, но в то же время обладают рядом приспособлений, которые указывают на роющий образ жизни. Так, для барсуков характерным являются длинные когти и сильная мускулатура на передних конечностях, узкая голова, небольшие ушные раковины.

К особой группе *псаммофилов* относят животных, заселяющих сыпучие подвижные пески. У позвоночных псаммофилов конечности нередко устроены в форме своеобразных «песчаных лыж», облегчающих передвижение по рыхлому грунту. Например, у тонкопалого суслика и гребнепалого тушканчика пальцы покрыты длинными волосами и роговыми выростами. Птицы и млекопитающие песчаных пустынь способны преодолевать большие расстояния в поисках воды (бегунки, рябки) или длительное время обходиться без нее (верблюды). Целый ряд животных получают воду вместе с пищей или запасают ее в период дождей, накапливая в мочевом пузыре, в подкожных тканях, в брюшной полости. Другие животные прячутся во время засухи в норы, зарываются в песок или впадают в летнюю спячку. Многие членистоногие также живут в подвижных песках. К типичным псаммофилам относятся мраморные хрущи из рода *Polyphylla*, личинки муравьиных львов (*Myrmeleonida*) и скакунов (*Cicindelinae*), большое количество перепончатокрылых (*Hymenoptera*). Почвенные животные, обитающие в подвижных песках, имеют специфические приспособления, которые обеспечивают им передвижение в рыхлом грунте. Как правило, это «минирующие» животные, раздвигающие частицы песка. Сыпучие пески заселяются только типичными псаммофилами.

Как уже было отмечено выше, 25% всех почв нашей планеты Земля засолено. Животных, приспособившихся к жизни на засоленных почвах, называют *галофилами*. Обычно в засоленных почвах фауна в количественном и качественном отношении сильно обедняется. Например, исчезают личинки щелкунов (*Elateridae*), хрущей (*Melolonthinae*), а вместе с тем появляются специфические галофилы, которые не встречаются в почвах обычной засоленности. Среди них можно отметить личинки некоторых пустынных жуков-чернотелок (*Tenebrionidae*).

Отношение растений к почве. Нами было отмечено ранее, что важнейшим свойством почвы является ее плодородие, которое определяется в первую очередь содержанием гумуса, макро- и микроэлементов, таких, как азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо, медь, бор, цинк, молибден и др. Каждый из этих элементов играет свою роль в структуре и обмене

веществ растения и не может быть заменен полностью другим. Различают растения: распространенные преимущественно на плодородных почвах — *эутрофные* или *эвтрофные*; довольствующиеся небольшим количеством питательных веществ — *олиготрофные*. Между ними выделяют промежуточную группу *мезотрофных* видов.

Разные виды растений неодинаково относятся к содержанию доступного азота в почве. Растения, особенно требовательные к повышенному содержанию азота в почве, называют *нитрофилами* (рис. 5.43).

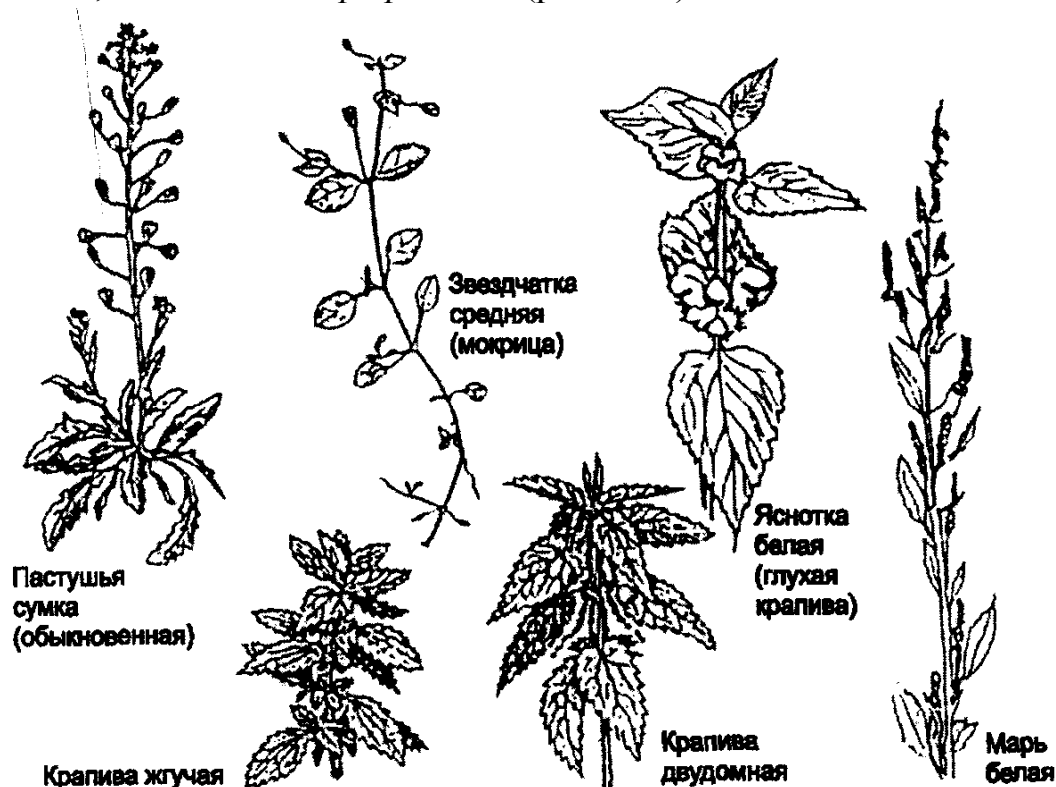


Рис. 5.43. Растения, обитающие на почвах, богатых азотом

Обычно они поселяются там, где есть дополнительные источники органических отходов, а следовательно, и азотного питания. Это растения вырубков (малина—*Rubus idaeus*, хмель вьющийся — *Humulus lupulus*), мусорные, или виды — спутники жилья человека (крапива — *Urtica dioica*, щирица — *Amaranthus retroflexus* и др.). К нитрофилам относятся многие зонтичные, поселяющиеся на опушках леса. В массе нитрофилы поселяются там, где почва постоянно обогащается азотом и через экскременты животных. Например, на пастбищах, в местах скопления навоза, пятнами разрастаются нитрофильные травы (крапива, щирица и др.).

Кальций — важнейший элемент, не только входит в число необходимых для минерального питания растений, но и является важной составной частью почвы. Растения карбонатных почв, содержащих более 3% карбонатов и вскипающих с поверхности, называют *кальциефилами* (венерин башмачок — *Cypripedium calceolus*). Из деревьев кальцефильны лиственница сибирская — *Larix sibirica*, бук, ясень. Растения, избегающие почв с большим содержанием

известни, называют *кальцефобами*. Это сфагновые мхи, болотные вересковые. Среди древесных пород — береза бородавчатая, каштан.

Растения неодинаково относятся к кислотности почвы. Так, при различной реакции среды в горизонтах почвы может вызвать неравномерное развитие корневой системы у клевера (рис. 5.44).

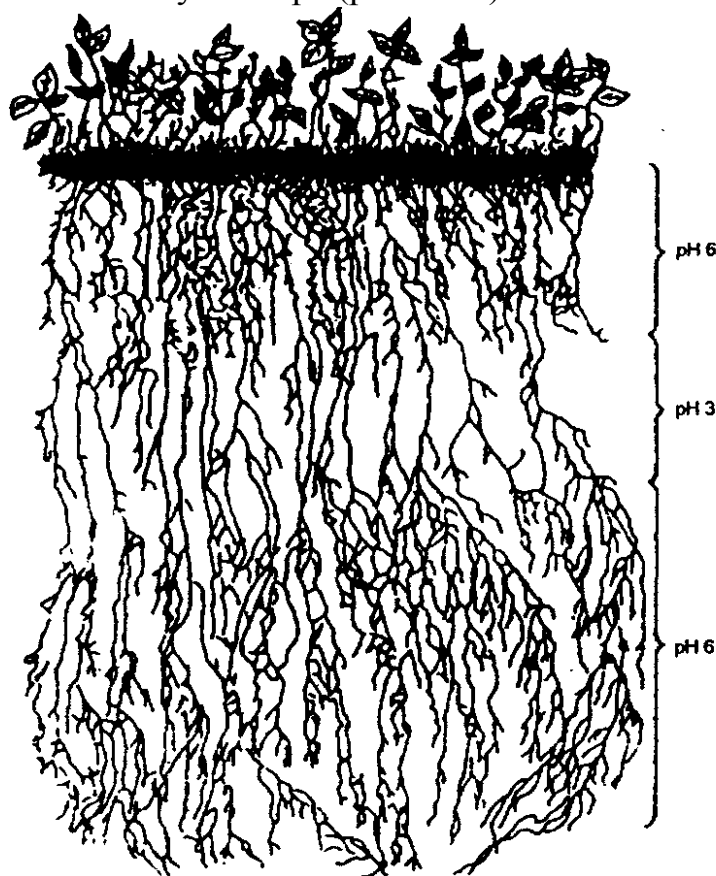


Рис. 5.44. Развитие корней клевера в горизонтах почвы при различной реакции среды

Растения, предпочитающие кислые почвы, с небольшим значением рН, т.е. 3,5—4,5, называют *ацидофилами* (вереск, белоус, щавелек малый и др.), растения же щелочных почв с рН 7,0—7,5 (мать-и-мачеха, горчица полевая и др.) относят к *базифилам* (базофилам), а растения почв с нейтральной реакцией — *нейтрофилам* (лисохвост луговой, овсяница луговая и др.).

Избыток солей в почвенном растворе оказывает отрицательное воздействие на растения. Многочисленными экспериментами установлено особенно сильное действие на растения хлоридного засоления почвы, тогда как сульфатное менее вредно. Меньшая токсичность сульфатного засоления почвы, в частности, связана с тем, что в отличие от иона Cl^- ион SO_4^{2-} в небольших количествах необходим для нормального минерального питания растений, и вреден только его избыток. Растения, приспособившиеся к произрастанию на почвах с высоким содержанием солей, называют *галофитами*. В отличие от галофитов растения, произрастающие не на засоленных почвах, называют *гликофитами*. Галофиты имеют высокое осмотическое давление, позволяющее

им использовать почвенные растворы, так как сосущая сила корней превосходит сосущую силу почвенного раствора. Некоторые галофиты выделяют излишки солей через листья или накапливают их в своем организме. Поэтому иногда их используют для получения соды и поташа. Типичными галофитами являются солерос европейский (*Salicornia herbacea*), сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum*) и др.

Особую группу представляют растения, адаптированные к сыпучим подвижным пескам, — *псаммофиты*. Растения сыпучих песков во всех климатических зонах имеют общие особенности морфологии и биологии, у них исторически выработались своеобразные приспособления. Так, древесные и кустарниковые псаммофиты при засыпании их песком образуют придаточные корни. На корнях развиваются придаточные почки и побеги, если растения обнажаются при выдувании песка (белый саксаул, кандым, песчаная акация и другие типичные пустынные растения). Некоторые псаммофиты спасаются от заноса песком быстрым ростом побегов, редукцией листьев, нередко увеличена летучесть и пружинистость плодов. Плоды передвигаются вместе с движущимся песком и не засыпаются им. Псаммофиты легко переносят засуху благодаря различным приспособлениям: чехлы на корнях, опробковение корней, сильное развитие боковых корней. Большинство псаммофитов безлистные или имеют четко выраженную ксероморфную листву. Это значительно сокращает транспирационную поверхность.

Сыпучие пески встречаются и во влажном климате, например песчаные дюны по берегам северных морей, пески обсыхающего речного ложа по берегам крупных рек и т. д. Здесь растут типичные псаммофиты, такие, как волоснец песчаный, овсяница песчаная, ива-шелюга.

На увлажненных, преимущественно глинистых почвах обитают такие растения, как мать-и-мачеха, хвощ полевой, мята полевая.

Чрезвычайно своеобразны экологические условия для растений, произрастающих на торфе (торфяные болота), — особой разновидностью почвенного субстрата, образовавшегося в результате неполного распада растительных остатков в условиях повышенной влажности и затрудненного доступа воздуха. Растения, произрастающие на торфяных болотах, называют *оксифитами*. Этим термином обозначают способность растений выносить высокую кислотность с сильным увлажнением и анаэробиезом. К оксифитам относятся багульник (*Ledum palustre*), росянка (*Drosera rotundifolia*) и др.

Растения, обитающие на камнях, скалах, каменистых осыпях, в жизни которых преобладающую роль играют физические свойства субстрата, относятся к *литофитам*. К этой группе принадлежат прежде всего первые после микроорганизмов поселенцы на скальных поверхностях и разрушающихся горных породах: автотрофные водоросли (*Nostoc*, *Chlorella* и др.), затем накипные лишайники, плотно прирастающие к субстрату и окрашивающие скалы в разные цвета (черный, желтый, красный и т. д.), и, наконец, листовые лишайники. Они, выделяя продукты метаболизма, способствуют разрушению горных пород и тем самым играют существенную роль в длительном процессе почвообразования. Со временем на поверхности и

особенно в трещинах камней накапливаются в виде слоя органические остатки, на которых поселяются мхи. Под моховым покровом образуется примитивный слой почвы, на которой поселяются литофиты из высших растений. Их называют растениями щелей, или *хасмофитами*. Среди них виды рода камнеломка (*Saxifraga*), кустарники и древесные породы (можжевельник, сосна и др.), рис. 5.45.



Рис. 5.45. Скальная форма роста сосны на гранитных скалах на побережье Ладожского озера (по А. А. Ниценко, 1951)

Они обладают своеобразной формой роста (искривленной, ползучей, карликовой и т. д.), связанной как с жесткими водным и тепловым режимами, так и с недостатком питательного субстрата на скалах.

Роль эдафических факторов в распределении растений и животных. Специфические растительные ассоциации, как уже отмечалось, формируются в связи с разнообразием условий мест обитания, включая и почвенные, а также и в связи с избирательностью по отношению к ним растений в определенной ландшафтно-географической зоне. Следует учитывать, что даже в одной зоне в зависимости от ее рельефа, уровня грунтовых вод, экспозиции склона и ряда других факторов создаются неодинаковые почвенные условия, которые отражаются на типе растительности. Так, в ковыльно-типчаковой степи всегда можно обнаружить участки, где доминирует ковыль или типчак. Отсюда вывод: типы почв являются мощным фактором распределения растений. На наземных животных эдафические факторы оказывают меньшее влияние. Вместе с тем животные тесно связаны с растительностью, и она играет решающую роль в их распределении. Однако и среди крупных позвоночных легко обнаружить формы, которые приспособлены к конкретным почвам. Это особенно характерно для фауны глинистых почв с твердой поверхностью, сыпучих песков, заболоченных почв и торфяников. В тесной связи с почвенными условиями находятся роющие формы животных. Одни из них приспособлены к более плотным почвам, другие могут разрывать только легкие песчаные почвы. Типичные почвенные животные также приспособлены к различным видам почв. Например, в средней Европе отмечают до 20 родов жуков, которые

распространены только на солончаковатых или солонцовых почвах. И в то же время нередко почвенные животные имеют очень широкие ареалы и встречаются в разных почвах. Дождевой червь (*Eisenia nordenskioldi*) достигает высокой численности в тундровых и таежных почвах, в почвах смешанных лесов и лугов и даже в горах. Это связано с тем, что в распространении почвенных обитателей кроме свойств почвы большое значение имеют их эволюционный уровень, размеры их тела. Тенденция к космополитизму отчетливо выражена у мелких форм. Это бактерии, грибы, простейшие, микроартроподы (клещи, коллемболы), почвенные нематоды.

В целом же по ряду экологических особенностей почва является средой промежуточной между наземной и водной. С воздушной средой почву сближает наличие почвенного воздуха, угроза иссушения в верхних горизонтах, относительно резкие изменения температурного режима поверхностных слоев. С водной средой почву сближают ее температурный режим, пониженное содержание кислорода в почвенном воздухе, насыщенность его водяными парами и наличие воды в других формах, присутствие в почвенных растворах солей и органических веществ, возможность двигаться в трех измерениях. Как и в воде, в почве сильно развиты химические взаимозависимости и взаимовлияние организмов.

Промежуточные экологические свойства почвы как среды обитания животных дают возможность сделать заключение, что почва играла особую роль в эволюции животного мира. К примеру, многие группы членистоногих в процессе исторического развития прошли сложный путь от типично водных организмов через почвенных обитателей до типично наземных форм.

5.4. Живые организмы как среда жизни

В течение всей жизни или части жизненного цикла многие виды гетеротрофных организмов обитают в других живых организмах, тела которых служат для них средой, значительно отличающейся от внешней по своим свойствам. Использование одними живыми организмами других в качестве среды обитания — древнее и широко распространенное явление в природе. Установлено, что прокариотические организмы (бактерии, актиномиценты, сине-зеленые водоросли) имеют сожителей. У большого числа одноклеточных эукариотических форм (красные, зеленые и диатомовые водоросли, амёбы, радиолярии и др.) обнаружены внутриклеточные паразиты и симбионты. Практически нет ни одного вида многоклеточных организмов, не имеющих внутренних обитателей. Чем выше организация хозяев, чем больше степень дифференцированности их тканей и органов, тем более разнообразные условия они могут предоставить своим сожителям. Так, английский ученый А. Е. Шитли писал, что каждая птица — это, по сути, настоящий летающий зоопарк. Разнообразие мельчайших существ, живущих на птицах, поистине ошеломляюще (рис. 5.46).

Перья служат пищей вшам и клещам; кожей питаются некоторые мухи; блохи, вши, москиты, пиявки и другие паразиты сосут кровь птиц, находясь на

поверхности тела, в то время как представители простейших разрушают красные кровяные тельца внутри организма. Практически в любых органах птицы можно обнаружить разнообразных паразитических червей.



Рис. 5.46. Живые организмы как среда жизни
(на примере паразитов птицы), по П. Фарбу, 1971

Джонатан Свифт также обратил внимание на огромную распространенность явления паразитизма:

Под микроскопом он открыл, что на блохе
живет блоху кусающая блошка;
На блошке той — блошинка-крошка,
В блошинку же вонзает зуб сердито
Блошиночка... и так *ad infinitum*.

Паразитизм — явление столь всеобщее, что единственные живые существа, не подверженные нападению паразитов, это те паразиты, которые представляют собой последнее звено длинной цепи питания. Однако чем ниже на эволюционной лестнице находится та или иная группа живых организмов, тем больше она включает видов паразитов. Некоторые группы низших

животных, особенно это касается плоских червей, нематод и некоторых членистоногих, состоят исключительно из паразитических форм. У позвоночных паразитизм как способ существования встречается крайне редко. В царстве растений паразиты широко распространены среди грибов (рис. 5.47).



Рис. 5.47. Картофель, пораженный фитофторой
(возбудитель — низший гриб *Phytophthora infestans*)

Несколько паразитирующих видов есть и среди высших цветковых растений, таких, как омела, повилика и др. Классический пример — виды рода (*Rafflesia*), у которых вегетативное тело — это нити, напоминающие гифы гриба, погруженные в ткани питающего растения. Снаружи развиваются лишь огромные (до 1 м в диаметре) цветки (рис. 5.48).

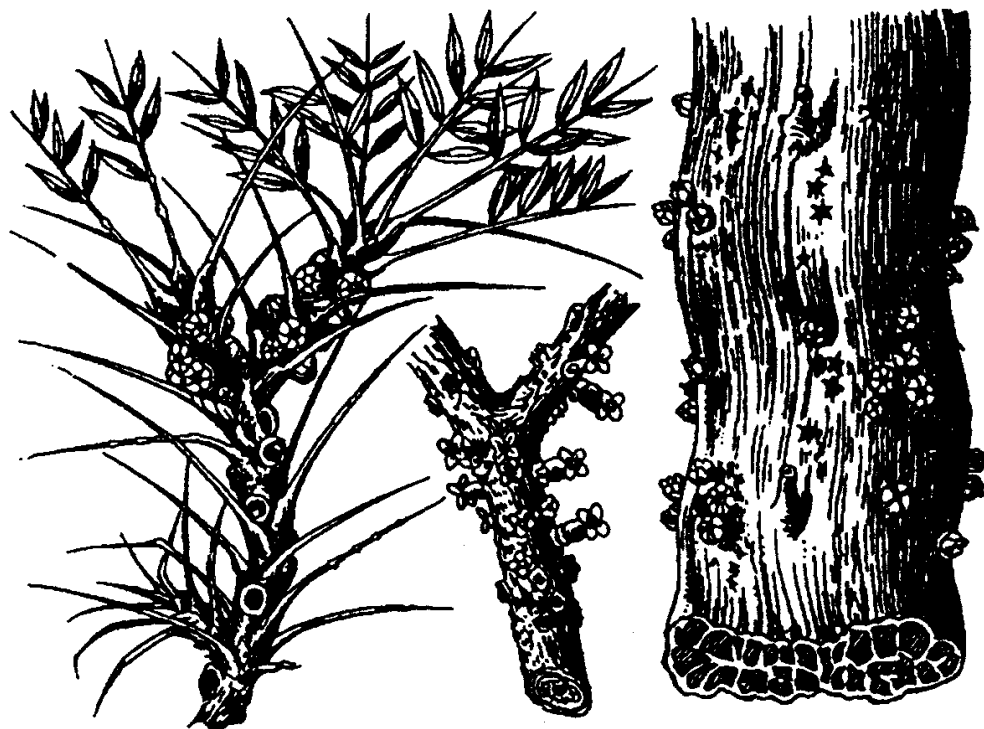


Рис. 5.48. Растение из семейства Rafflesiaceae —
Эндопаразита древесных видов (по А. Кернеру, 1896):

тело паразита находится внутри ветви или ствола хозяина, снаружи видны лишь цветки или плоды

183

Для животных и растений, ведущих паразитический образ жизни, организм, на котором или в котором они поселяются (хозяин), является *специфической средой обитания*. Большая часть паразитов практически полностью утратила связь с внешним миром, и все стадии их развития происходят в организме хозяев, например малярийный плазмодий и др.

Между паразитами и хозяевами в процессе эволюции возникли сложные взаимоотношения. Различные их оттенки отражают пути возникновения паразитизма.

Первый путь — простое «квартирантство», как на рис.5.49 (2).

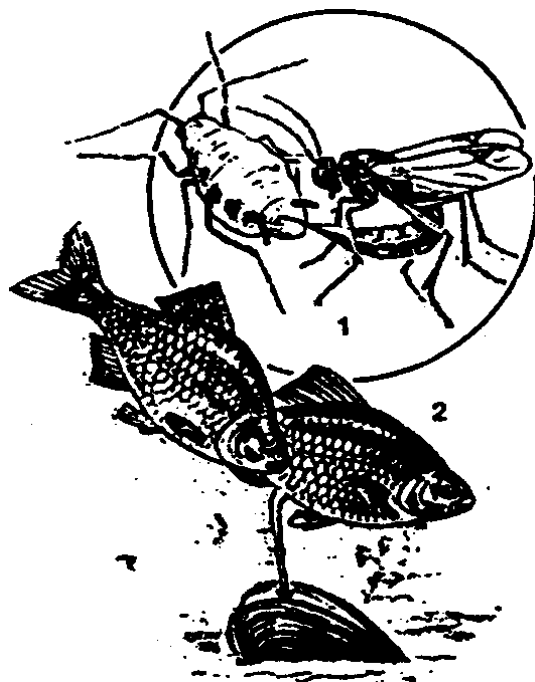


Рис. 5.49. Животное-паразитоид наездник, откладывающий яйца в тлю (1); «квартирантство». Самка горчака откладывает икру в мантийную полость двустворчатого моллюска беззубки (2)

Нередко более мелкий организм поселяется в жилище более крупного или вблизи него и со временем переходит на тело хозяина, а затем и внутрь, переключаясь на питание за счет его жизни или соков и таким образом причиняя ему вред. Квартирант может превратиться в конечном итоге в паразита, а тело хозяина становится для него средой обитания.

Второй путь перехода к паразитизму — через хищничество. Так, хищник при нападении на крупную добычу, которую не может уничтожить и съесть сразу, при определенных условиях проникнув внутрь тела хозяина и найдя там благоприятную среду — обилие пищи, может превратиться в паразита. Организм хозяина для паразита становится средой обитания.

Третий путь — случайное проникновение будущего паразита в организм хозяина. Например, крупные животные могут заглатывать с пищей мелкие формы, некоторые из них не погибают, а, приспосабливаясь к новым условиям, превращаются в паразитов. В природе сохранилось немало примеров перехода этих трех путей от квартирантства, хищничества и случайного паразитирования к подлинному паразитизму. Вместе с тем сегодня трудно сказать, когда на Земле появился первый паразит, от какой группы животных или растений он произошел.

Паразитов обычно делят на две группы: *эктопаразитов* и *эндопаразитов*. Эктопаразиты — это наружные паразиты, обитающие на поверхности тела хозяина (клещи, пиявки, блохи). У растений-эктопаразитов большая часть тела находится вне хозяина, а в него внедряются и вступают в контакт с живыми клетками лишь органы чужеядного питания — присоски или гаустории (повилика европейская — *Cuscuta europaеа* и др.). Эндопаразиты — внутренние

паразиты, живущие внутри тела хозяина. Это большинство гельминтов, бактерии, вирусы, паразитические простейшие. У растений-эндопаразитов почти все тело помещается внутри тканей хозяина, наружу выходят лишь органы размножения (виды рода *Rafflesia*, см. рис. 5.48). У многих паразитических грибов тело находится в межклетниках высшего растения, а в клетки внедряются гаустории. Паразитические низшие грибы и бактерии живут внутри клеток растения-хозяина.

Отличают и *стационарный паразитизм*, когда паразит на длительное время, часто на всю жизнь, связывает себя с хозяином. Стационарные паразиты могут быть приурочены к одному хозяину (*постоянные*) — вши, пухоеды, чесоточные зудни, или развитие их протекает со сменой хозяев (*периодические*) — многие ленточные черви, сосальщики. Так, малярийный плазмодий определенную часть жизни проводит в малярийном комаре — окончательный хозяин. Промежуточным хозяином является человек. Окончательным хозяином служит тот организм, в котором обитает половозрелая форма паразита, а промежуточным — в котором паразит проходит личиночную, неполовозрелую стадию.

Клещевой энцефалит — заболевание, поражающее центральную нервную систему человека. Оно вызывается вирусом, переносчики и хранители вируса — иксодовые клещи. Излюбленные места обитания клещей — южная часть таежных лесов на всем протяжении европейской и азиатской частей России.

Имеются и *временные паразиты*. Они не всю свою жизнь связывают с хозяином, а часть ее проводят свободно. К ним относят кровососущих двукрылых и многих клопов.

Таким образом, еще раз обращаем внимание, что паразитов больше всего среди микроорганизмов и сравнительно примитивных многоклеточных, а подверженность паразитизму наиболее развита у позвоночных животных и цветковых растений.

Паразиты обитают в специфических условиях внутренней среды хозяина. С одной стороны, это дает им ряд экологических преимуществ, а с другой — затрудняет осуществление их жизненного цикла по сравнению со свободноживущими видами.

Одним из важных преимуществ паразитов является обильное их снабжение пищей за счет содержимого клеток, соков и тканей тела хозяина или содержимого кишечника. Обильная и легкодоступная пища служит условием быстрого роста паразитов. Так, в кишечном тракте позвоночных паразиты достигают больших размеров по сравнению с их свободноживущими родственниками.

Человеческая и свиная аскариды — наиболее крупные представители класса нематод, а бычий и свиной солитеры, лентец широкий — гиганты среди плоских червей, достигающие в длину 8 — 12 м, тогда как самые крупные тропические турбеллярии не превышают 60 см. Большинство свободноживущих инфузорий имеют размеры 50 — 100 мкм, тогда как сожители жвачных *Entodina* достигают 200 — 500 мкм, а в некоторых случаях 2 — 3 мм, как *Ruminantia* из кишечника даманов. Вторым важным

экологическим преимуществом для обитателей живых организмов является их защищенность от непосредственного воздействия факторов внешней среды. Внутри хозяина они практически не встречаются с опасностью высыхания, резким колебанием температур, значительными изменениями солевого и осмотического режимов и т. п. Так, в особенно стабильных условиях существуют внутренние обитатели гомойотермных животных. Колебания условий внешней среды сказываются на внутренних паразитах и симбионтах лишь опосредованно, через организм хозяев. Практически неограниченные пищевые ресурсы служат для паразитов также условием высокого потенциала их размножения, которое обеспечивает им вероятность заражения других хозяев.

Защищенность от внешних врагов, обилие легкоусвояемой пищи, относительная стабильность условий делают ненужной сложную дифференцировку тела, отсюда многие внутренние паразиты и симбионты характеризуются в эволюции вторичным упрощением строения, включая потерю целых систем органов. Например, ленточные черви, всасывающие переваренную хозяином пищу через покровы, отличаются отсутствием пищеварительной системы и редукцией нервной. Галловые клещи, живущие в тканях растений, проводят всю свою жизнь и даже размножаются на стадии эмбриона всего с одной парой конечностей вместо четырех пар, как свойственно всем паукообразным.

В связи с паразитическим образом жизни у растений редуцируется ряд физиологических функций и соответствующих органов. Например, отсутствуют или сильно редуцированы корни. Потеря способности к фотосинтезу привела к отсутствию хлорофилла. Так, у некоторых заразих удается обнаружить лишь его следы. По мере усиления паразитических свойств в эволюционном ряду растений-паразитов сокращается ферментный аппарат. Остаются лишь специализированные ферменты, позволяющие паразитировать на узком круге хозяев. Эта биохимическая специализация послужила основой строгой избирательности многих паразитов по отношению к растениям-хозяевам.

Одним из наиболее известных эктопаразитов, как уже было отмечено выше, является повилика европейская (*Cuscuta europaea*), паразитирующая на многих травянистых видах и невысоких кустарниках (рис. 5.50).

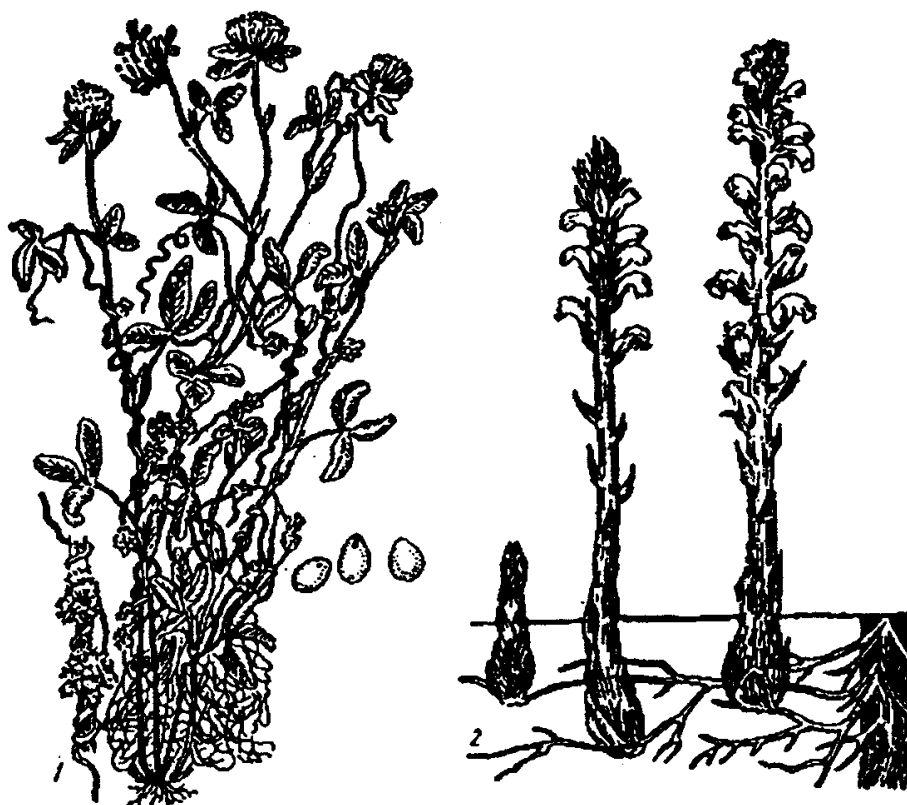


Рис. 5.50. Повилика и заразиха:
1 — повилика клеверная; 2 — заразиха подсолнечниковая

Тело растения представлено тонкими желтоватыми стеблями, напоминающими нити, которые обвиваются вокруг стеблей растения-хозяина, нередко переплетаясь друг с другом. Внедрение в ткани хозяина происходит с помощью гаусторий. Листья у повилик полностью отсутствуют, а после прикрепления к хозяину отмирает и слабо развитый корень, поэтому стебли повилики не имеют связи с почвой. В середине лета на них появляются шаровидные клубочки мелких бледно-розовых цветков. Из других бесхлорофилльных паразитов следует назвать виды рода заразихи (*Orobanche*), которые поражают многие сельскохозяйственные культуры (конопля, подсолнечник, табак и др.) и виды дикой флоры. Толстый мясистый стебель заразихи, покрытый чешуйчатыми бесцветными листьями, несет на конце колосовидное соцветие. Нижний его конец, обычно вздутый и утолщенный, прикреплен к корню растения-хозяина.

Существует ряд переходов от настоящих паразитов к автотрофным растениям. Промежуточное звено в нем представляют полупаразиты, которых нередко называют «зелеными паразитами». Это растения, частично или полностью утратившие способность поглощать из почвы воду и питательные вещества, но сохранившие хлорофилл и возможность самостоятельного фотосинтеза. Широко известны луговые травянистые полупаразиты. Среди них погремки большой и малый — *Alectorolophus major* и *A. minor*, мытник — *Pedicularis*, очанки — *Euphrosia* и др. К корням травянистых растений они прикрепляются с помощью гаусториев. Полупаразитный образ жизни ведут

омела белая (*Viscum album*) и ремнецветник европейский (*Loranthus europaeum*), поселяющиеся на ветвях древесных пород, таких, как липа, тополь и др. Всего насчитывают 1964 вида полупаразитов.

Для паразитов выход во внешнюю среду, как правило, чреват многими опасностями, отсюда на той стадии жизненного цикла, которую паразиты проводят вне хозяина, у них развиваются различные защитные приспособления, позволяющие пережить этот критический период (толстые и многослойные оболочки яиц гельминтов, цисты кишечных амеб, ооцисты со спорами кокцидий, способность к анабиозу у ряда личинок нематод и т. д.). При отсутствии же в жизненном цикле паразитов стадии выхода во внешнюю среду, как у малярийного плазмодия, таких защитных приспособлений не обнаруживается.

Основные экологические трудности, с которыми сталкиваются внутренние сожители живых организмов, — это ограниченность жизненного пространства для внутриклеточных и тканевых обитателей, сложности снабжения кислородом, трудность распространения от одной особи хозяев к другим, а также защитные реакции организма хозяина против паразитов. Ограниченность жизненного пространства особенно сказывается на размерах и форме внутриклеточных паразитов. Так, грегарины, живущие в полости кишечника, — крупные споровики со сложно расчлененной клеткой, тогда как малярийные плазмодии, являющиеся внутриклеточными паразитами, отличаются мелкими размерами и упрощенным внешним строением.

Недостаток кислорода в тканях и особенно в желудочно-кишечном тракте организмов-хозяев приводит к тому, что у многоклеточных обитателей внутриорганизменной среды вырабатывается преимущественно анаэробный тип обмена. Необходимая для работы клеток энергия высвобождается за счет разных видов брожения, а не за счет дыхания. Так, у человеческой аскариды утрачены все ферменты дыхательного цикла, кислород действует на них как яд, что и используется в медицинской практике. Однако целый ряд паразитов не утрачивает полностью способности к дыханию и может переключаться с анаэробного типа обмена на аэробный, таковы жгутиковые *Trichomonas*, эхинококк и др.

Среда обитания паразитов ограничена как во времени (жизнью хозяина), так и в пространстве. Поэтому основные адаптации направлены на возможность распространения в этой среде, передачи от одного хозяина к другому. Так, для паразита растений очень важно обеспечить контакт с хозяином, начиная с прорастания семян. Семена многих паразитических видов не прорастают в почве до тех пор, пока не окажутся вблизи корней растений-хозяев, от которых в почву поступают выделения, стимулирующие прорастание семян паразита и определяющие направления роста его гаусторий. Проростки некоторых паразитов (повилик, заразих) производят винтообразные движения «в поисках» корня или стебля растения-хозяина.

С помощью электронно-микроскопических исследований установлено, что вблизи проникновения гаустории омелы в ткани тополя направление роста сосудов растения-хозяина отклоняется в сторону присоски под влиянием

выделений паразита, облегчающих установление контактов с хозяином.

Важная адаптация паразитов — синхронизация их жизненных циклов с сезонным развитием растений-хозяев, позволяющая осуществить заражение хозяина в нужный момент. Это явление широко известно для многих паразитических грибов. Некоторые паразиты способны к временной приостановке развития, начинающегося в «неподходящий» момент. Например, слишком рано появившиеся проростки повилики прекращают рост, иногда на несколько недель, до тех пор, пока рядом не разовьются проростки травянистых растений — возможных хозяев. Существенными адаптациями паразитов являются повышенная способность к размножению, выработка сложных жизненных циклов, использование переносчиков и промежуточных хозяев. Например, полупаразит *Striga* (колдунья трава) широко распространен в Африке, Южной Азии, Австралии на зерновых культурах, сорго, сахарном тростнике, образует на одном растении до 0,5 млн очень мелких семян. Семена паразитов весьма долговечны, что дает им возможность длительного «выжидания» контакта с растением-хозяином (семена *Striga* могут сохранять всхожесть в почве до 20 лет).

Громадная плодовитость, свойственная паразитам, получила название «закона большого числа яиц». Так, человеческая аскарида продуцирует в среднем 250 тыс. яиц за сутки, а за всю жизнь — свыше 60 млн. Подавляющее большинство яиц и зародышей паразитов гибнет, не выдержав воздействия различных факторов внешней среды, не попав в очередного хозяина, и только чрезвычайная плодовитость увеличивает шансы на выживание и завершение жизненного цикла хотя бы немногих потомков, поддерживая существование вида.

У ряда паразитов приспособления к умножению потомства проявляются и в виде *партеногенеза*, *полиэмбрионии* (клетки одного делящегося яйца дают начало множеству зародышей), *бесполого размножения* (почкование у пузырьчатых стадий ленточных червей). Это приводит к чередованию поколений — полового и партеногенетического или полового и бесполого.

У многих паразитов чередование поколений сочетается со сменой двух или более хозяев, следовательно, одно поколение существует в одном хозяине, а другое — в другом. К примеру, ленточный червь, обитающий в кишечнике лисицы, откладывает там крошечные яички. Эти яички вместе с экскрементами лисицы попадают на землю. Как им теперь вернуться в кишечник какой-нибудь другой лисицы? Процесс возвращения включает в себя стадию промежуточного хозяина или несколько хозяев. Траву, на которую попали яйца ленточного червя, съедает заяц. В его организме яйца превращаются в личинки. Личинки вбуравливаются в ткани зайца и там переходят в покоящуюся стадию — цисты. В дальнейшем, если лисица поймает этого зайца, то цисты попадут в ее кишечник, там превратятся в молодого ленточного червя, и жизненный цикл начнется сначала. Многообразие и сложность жизненных циклов паразитов выработались как приспособление для передачи от одной особи хозяина к другой, для распространения.

Адаптация паразита к существованию на определенном хозяине включает

также весьма тонкую биохимическую специализацию — выработку определенного набора ферментов, облегчающих проникновение в тело хозяина и использование поступающих от него веществ.

В ряде случаев паразиты сами становятся средой обитания других видов — возникает явление *сверхпаразитизма*, или *гиперпаразитизма*. Например, для паразита капустной белянки наездника (*Apanteles glomeratus*) известно более 20 видов вторичных паразитов из перепончатокрылых. Явления сверхпаразитизма в растительном мире сравнительно редки. К ним относятся случаи поселения одного вида омелы (*Viscum meniliforme*) на другом (*V. orientale*) в тропических лесах Индии.

В разных частях тела многоклеточного организма условия неоднородны. Для своих обитателей хозяин выступает как многообразная среда. Его паразиты специализируются к жизни в определенных органах и тканях. Они приурочены к определенному возрастному и физиологическому состоянию хозяина. Так, в волосах человека обитают одни разновидности вшей, тогда как в волосяном покрове других частей тела — совсем иные. В пищеварительном тракте кролика одновременно могут паразитировать несколько видов кокцидий, каждый из которых локализуется в определенных частях кишечника: *Eimeria media* — в начальном отделе тонкой кишки, *E. irresidua* — в средней, а *E. magna* — в последней ее петле, *E. piriformis* — преимущественно в слепой кишке и т. д.

В Сибири, в лиственницах, тонкоусый еловый усач заселяет преимущественно прикорневую часть до высоты примерно 1 м, лиственничная златка осваивает ствол выше, до 4—5 м, продолговатый короед распространяется по всей его средней части, а вершину и ветви заселяют короед-гравер и заболотник Моравица.

Большое число паразитов обитает не внутри, а на поверхности тела хозяина, выступающего в этом случае как часть внешней среды паразита, снабжая его пищей, предоставляя убежище, трансформируя микроклимат. Связь с хозяином эктопаразита может быть постоянной или временной. Одна из основных жизненно важных экологических задач для постоянных или длительно связанных эктопаразитов с хозяином — удержаться на теле хозяина. Типичные эктопаразиты в связи с этим обычно характеризуются наличием мощных органов прикрепления — присосок, крючьев, коготков и т. д., которые независимыми путями развиваются у самых разных по происхождению видов.

Живые организмы не только испытывают воздействия со стороны паразитов, но и энергично реагируют на них. Паразиты как обитатели живой среды должны преодолевать сопротивление организма хозяина, его защитные реакции. Это сопротивление паразитам носит название активного иммунитета. Здоровые, полноценные особи животных и растений обладают действенными защитными приспособлениями, которые не позволяют проникать в них патогенным организмам. Так, у животных защитной реакцией от вторжения посторонних организмов является выработка гуморального иммунитета, т. е. образование в крови хозяина специфических белковых веществ, антител, которые подавляют паразитов. Выработка иммунитета стимулируется

токсинами паразита и часто предохраняет от повторных заражений. Устойчивость хвойных деревьев к нападению стволовых вредителей (жуков-короедов, усачей и др.) обеспечивается прежде всего выделением смолы, содержащей соединения, токсичные для этих насекомых. Ослабленные же деревья теряют сопротивляемость, подвергаются заселению насекомыми-вредителями, поражаются грибами и т. д.

В ряде случаев организм хозяина отвечает на вторжение паразита разрастанием окружающих его тканей, образованием своеобразной капсулы, которая изолирует паразита. Такие образования у растений называют *галлами*, а у животных — *зооцецидиями*. Нередко подобная изоляция приводит к гибели паразита. Чаще же, например, защитная роль зооцецидиев ограничивается локализацией причиняемого вреда в определенном участке тела хозяина, а сами паразиты используют их как дополнительные защитные образования. Особенно наглядно это выражено в возникновении галлов у растений (рис. 5.51).



Рис. 5.51. Галлы на листьях (по Е. Страсбургу, 1962)

А — шиповник (*Rosa conina*); Б — бук (*Fagus sylvatica*)

Вызывающие их насекомые, клещи, нематоды и другие паразиты выделяют специфические вещества, которые стимулируют преобразование тканей или целых органов растений в галлы с камерой внутри, где их обитатель надежно защищен от высыхания, врагов и обеспечен пищей.

Как уже было отмечено, защитные реакции растения-хозяина состоят прежде всего в выработке иммунитета — невосприимчивости к заражению паразитами. Известны устойчивые к паразитным грибам сорта картофеля, зерновых и других сельскохозяйственных культур. К защитным приспособлениям относятся и особенности покровных тканей, которые затрудняют проникновение паразита (толстая кутикула, опушение и т. д.), особенности химического состава клеток и тканей. Например, доказано, что к

грибным паразитам устойчивы растения, содержащие много эфирных масел, сапонинов, алкалоидов, многие галофиты с повышенным содержанием солей.

Отношения между паразитом и хозяином в растительном и животном мире на популяционном и видовом уровнях определенным образом уравновешены. Очевидно, паразит не может размножаться до такой степени, чтобы привести к вымиранию популяции хозяина и лишиться себя «кормовой базы». Регулятором равновесия служит относительно медленное воздействие на хозяина некоторых паразитов, таких, как грибы, вызывающие ржавчину, головню, мучнистую росу на зерновых культурах, а иногда даже наблюдается некоторая биохимическая стимуляция роста хозяина со стороны паразита. Следовательно, паразиты, так же как и свободноживущие виды, имеют сложную систему приспособлений к своей среде обитания. Их строение и организация отражают специфику этой среды. Развиваются сходные типы приспособлений у представителей разных групп, ведущих паразитический образ жизни.

6. БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

В отличие от абиотических факторов, охватывающих всевозможные действия неживой природы, *биотические факторы* — это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие. Среди них обычно выделяют: 1) влияние животных организмов (зоогенные факторы); 2) влияние растительных организмов (фитогенные факторы); 3) влияние человека (антропогенные факторы).

Действие биотических факторов может рассматриваться как действие их на среду, на отдельные организмы, населяющие эту среду, или действие этих факторов на целые сообщества. Действия биотических факторов на сообщества будут рассмотрены в разделах экологии популяций и сообществ. Здесь же мы сосредоточим внимание в большей степени на действиях биотических факторов на отдельные особи, организмы, на среде, населенной этими организмами.

Экологические исследования о действии биотических факторов на организмы первоначально носили прикладной характер — в целях борьбы с вредителями, паразитами, в выявлении пищи животных, хищничества. В настоящее время изучение действия биотических факторов на организмы, особи идет широким планом и проводится как в лабораторных, так и в природных условиях.

6.1. Гомотипические и гетеротипические реакции

Клементс и Шелфорд (1939) взаимодействиям между различными организмами, населяющими данную среду, дали название *коакций*. Коакции подразделили на два типа.

Гомотипические реакции, или взаимодействия между особями одного и того же вида. Реакции этого типа весьма разнообразны. Основные из них — групповой и массовый эффекты, внутривидовая конкуренция.

Гетеротипические реакции, т.е. взаимоотношения между особями разных видов. Влияние, которое оказывают друг на друга два вида, живущих вместе, может быть нулевым, благоприятным или неблагоприятным. Отсюда типы комбинаций могут быть следующими.

Нейтрализм — оба вида независимы и не оказывают друг на друга никакого влияния.

Конкуренция — каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное действие. Виды конкурируют в поисках пищи, укрытий, мест кладки яиц и т. п. Оба вида называют конкурирующими.

Мутуализм — симбиотические взаимоотношения, когда оба сожителя вида извлекают взаимную пользу.

Сотрудничество — оба вида образуют сообщество. Оно не является обязательным, так как каждый вид может существовать отдельно, изолированно, но жизнь в сообществе им обоим приносит пользу.

Комменсализм — взаимоотношения видов, при которых один из партнеров получает пользу, не нанося ущерб другому.

Аменсализм — тип межвидовых взаимоотношений, при котором в совместной среде один вид подавляет существование другого вида, не испытывая противодействия.

Паразитизм — это форма взаимоотношений между видами, при которой организмы одного вида (паразита, потребителя) живут за счет питательных веществ или тканей организма другого вида (хозяина) в течение определенного времени.

Хищничество — такой тип взаимоотношений, при котором представители одного вида поедают (уничтожают) представителей другого, т. е. организмы одного вида служат пищей для другого.

Основные типы коакций приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Типы коакций, существующих между разными видами
(по Р. Дажо, 1975)**

Типы коакций	Виды, живущие совместно		Виды, живущие раздельно	
	А	Б	А	Б
Нейтрализм	0	0	0	0
Конкуренция	-	-	0	0
Мутуализм	+	+	-	-
Сотрудничество	+	+	0	0
Комменсализм (А — комменсал Б)	+	0		0
Аменсализм (А — аменсал Б)	-	0	0	0
Паразитизм (А — паразит, Б — хозяин)	+	-	-	0
Хищничество (А — хищник, Б — жертва)	+	—	—	0

Примечание: (0) — взаимоотношения между видами не сказывается на их развитии:

(+) — развитие вида делается возможным или облегчается:

(-) — развитие вида затрудняется или делается невозможным.

Среди взаимопользных взаимосвязей (+, +) среди видов (популяций) помимо *мутуализма* выделяют *симбиоз* и *протокооперацию* (рис. 6.1).

Симбиоз — неразделимые взаимопользные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма.

Протокооперация — простой тип симбиотических связей. При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т. е. не является неременным условием выживания видов (популяций).

При *комменсализме* как полезнейтральных взаимосвязях (+, 0)

выделяют нахлебничество, сотрапезничество, квартирантство.

Нахлебничество — потребление остатков пищи хозяина, например взаимоотношения акул с рыбами-прилипалами.

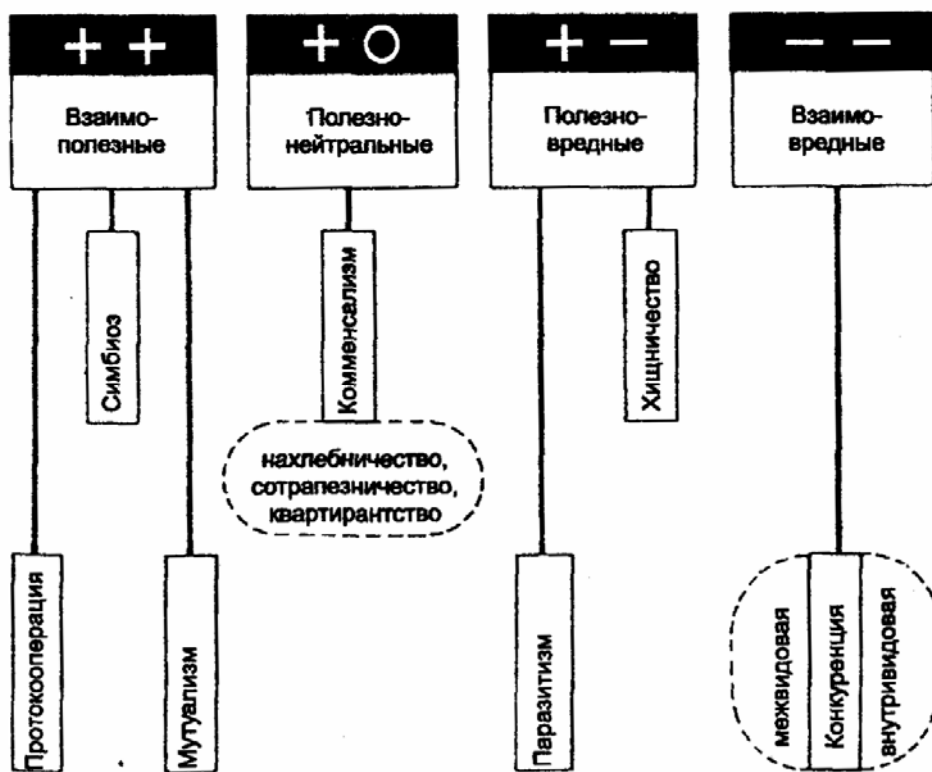


Рис. 6.1. Основные типы экологических взаимодействий

Сотрапезничество — потребление разных веществ или частей их одного и того же ресурса. Например, взаимоотношения между различными видами почвенных бактерий-сапрофитов, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков, и высшими растениями, которые потребляют образовавшиеся при этом минеральные соли.

Квартирантство — использование одними видами других (их тел или их жилищ) в качестве убежища или жилища.

6.2. Зоогенные факторы

Живые организмы живут в окружении множества других, вступают с ними в разнообразные отношения как с отрицательными, так и положительными для себя последствиями, а в итоге не могут существовать без этого живого окружения. Связь с другими организмами является необходимым условием питания и размножения, возможность защиты, смягчения неблагоприятных условий среды, с другой стороны — опасность ущерба, а нередко и непосредственная угроза существованию индивидуума. Непосредственное живое окружение организма составляет его *биотическую*

среду. Каждый вид способен существовать только в таком биотическом окружении, где связи с другими организмами обеспечивают нормальные условия для их жизни. Отсюда следует, что многообразные. Живые организмы встречаются на нашей планете не в любом сочетании, а образуют определенные сообщества, в которые входят виды, приспособленные к совместному обитанию.

Взаимодействия между особями одного и того же вида, так называемые *гомотипиские реакции*, как было отмечено ранее, проявляются в групповом и массовом эффектах, внутривидовой конкуренции.

Термином *групповой эффект* Grasse, Chauvin (1944) обозначили изменения, связанные с объединением животных в группы по две или более особей. В настоящее время существование группового эффекта известно во многих отрядах насекомых и у позвоночных. Важным следствием этого является значительное ускорение роста.

Групповой эффект проявляется у многих видов, которые могут нормально размножаться и выживать только в том случае, если представлены достаточно крупными популяциями. Например, для выживания африканских слонов стадо должно состоять не менее чем из 25 особей, а стадо северного оленя должно насчитывать не менее 300—400 голов. «Принцип минимального размера популяции» объясняет, почему нельзя спасти виды, которые стали слишком редкими. Известно, что белый журавль в Северной Америке, несмотря на все усилия, которые предпринимались в течение многих лет, насчитывает в настоящее время не более 30—50 особей.

При совместной жизни облегчаются поиски пищи, борьба с врагами. Групповой эффект более отчетливо проявляется при наличии у животных *фазности*, т. е. существование вида одновременно в двух фазах: одиночных особей и особей, объединенных в стада. Так, классическим примером фазности является саранча. Наличие фаз установлено у различных видов бабочек, жуков, тлей, таракана-прусака, сверчков, сеноедов и др. Во всех случаях наблюдаются значительные изменения в плодовитости, скорости развития, а нередко в морфологических и физиологических особенностях животных.

Массовый эффект. Этот термин, предложенный Грассе, обозначает эффект, вызванный перенаселением среды. Между групповым и массовым эффектами существуют в большинстве случаев переходы, но, как правило, массовый эффект влечет за собой вредные для животных последствия, в то время как групповой эффект на них воздействует благоприятно. Один из примеров массового эффекта дают исследования, проведенные Мак Лаганом и Данном (Balachowsky, 1963) на амбарном долгоносике *Sitophilus (Calanda) oryzae*. У этого вида число яиц, откладываемых ежедневно, достигает максимума, когда отношение числа особей (сумма самцов и самок) к числу зерен становится равным 1/200. Размер кладки уменьшается, если на самку приходится меньшее число зерен. Это явление прежде всего связано с «насыщением» зерен, так как самки не решаются откладывать яйца в зерна, занятые уже другими яйцами или личинками. Оно связано и с массовым эффектом, поскольку насекомые мешают Друг другу, что и тормозит кладку.

Подобные явления, вызванные массовым эффектом, называют *самоограничением*.

Внутривидовая конкуренция. При внутривидовой конкуренции между особями сохраняются взаимоотношения, при которых они в состоянии размножаться и обеспечивать передачу свойственных им наследственных свойств.

197

Внутривидовая конкуренция бывает в территориальном поведении, 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 многих рыб (например, колюшки).

Проявлением внутривидовой конкуренции является существование у животных социальной иерархии, которая характеризуется появлением в популяции доминирующих и подчиненных особей. Например, у майского жука личинки трехлетнего возраста подавляют личинок одно- и двухлетнего возраста. Это является причиной того, что вылет взрослых жуков наблюдается только раз в три года, тогда как у других насекомых (например, посевных шелконов *Agriotes*) продолжительность личиночной стадии также составляет три года, выход имаго происходит ежегодно из-за отсутствия конкуренции между личинками.

Конкуренция между особями одного вида из-за пищи по мере увеличения плотности популяции становится более острой. В некоторых случаях внутривидовая конкуренция может приводить к дифференциации вида, к распадению его на несколько популяций, занимающих разные территории. Так, у саванной овсянки (*Passerculus sandwichensis*) один экологический подвид размещается на сухих холмах, другой — на прибрежных солончаках. Конкуренция нередко является причиной переселения части популяции особей из одного географического района в другой. Этим объясняют перелеты различных зерноядных птиц, так называемых узких стенофагов тайги — кедровок, свиристелей, совершающих налеты в Западную Европу, когда не хватает пищи в районах их обычного распространения.

Взаимоотношения между особями разных видов, или *гетеро-типические реакции*, проявляются в виде нейтрализма, межвидовой конкуренции, мутуализма, сотрудничества, комменсализма, паразитизма и хищничества.

При нейтрализме особи не связаны друг с другом непосредственно, и сожительство их на одной территории не влечет для них как положительных, так и отрицательных последствий, но зависит от состояния сообщества в целом. Так, лоси и белки, обитающие в одном лесу, практически не контактируют друг с другом. Отношения типа нейтрализма развиты в насыщенных видами сообществах.

Межвидовой конкуренцией называют активный поиск двумя или несколькими видами одних и тех же пищевых ресурсов среды обитания. Конкурентные взаимоотношения, как правило, возникают между видами со сходными экологическими требованиями. При совместном обитании каждый из них находится в невыгодном положении в связи с тем, что присутствие другого вида уменьшает возможности в овладении пищевыми ресурсами, убежищами и другими средствами к существованию, имеющимися в местообитании. Конкуренция относится к форме экологических отношений, отрицательно сказывающейся на взаимодействующих партнерах.



Г. Ф. Гаузе

Конкурентные взаимоотношения могут быть самыми различными — от прямой физической борьбы до мирного совместного существования. И вместе с тем, если два вида с одинаковыми экологическими потребностями оказываются в одном сообществе, то обязательно один конкурент вытесняет другого. Это одно из общих экологических правил, получившее название «закон конкурентного исключения», сформулированное Г. Ф. Гаузе (1910—1986) на основании результатов опытов по содержанию двух видов инфузорий на одном и том же ограниченном питании (рис. 6.2).

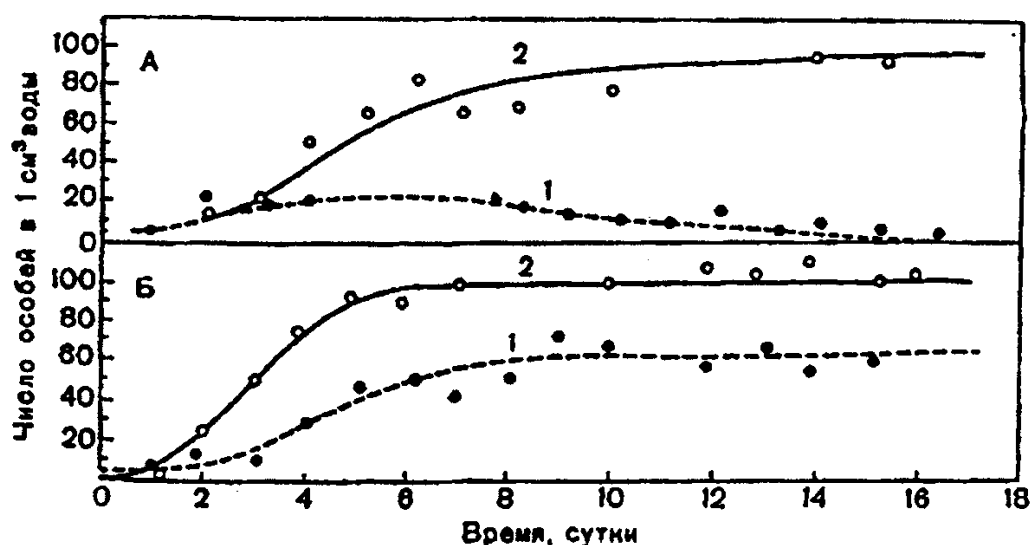


Рис. 6.2. Рост численности инфузорий *Paramecium candatum* (1) и *P. aurelia* (2):

А — в смешанной культуре, Б — в раздельных (по Г. Ф. Гаузе из Н. М. Черновой, А. М. Быловой, 1988)

Как оказалось, через некоторое время в живых остаются особи только одного вида, выжившие в борьбе за пищу, так как его популяция быстрее росла и размножалась. Победителем в конкурентной борьбе оказывается тот вид, который в данной экологической обстановке имеет хотя бы небольшие преимущества перед другим, а следовательно, и большую приспособленность к

условиям окружающей среды.

Конкуренция является одной из причин того, что два вида, слабо различающихся спецификой питания, поведения, образа жизни и т. д., редко сожительствуют в одном сообществе. Здесь конкуренция носит характер прямой вражды. Самая жестокая конкуренция с непредвиденными последствиями возникает, если человек вводит в сообщества виды животных без учета уже сложившихся отношений.

Чаще же конкуренция проявляется косвенно, носит незначительный характер, так как различные виды неодинаково воспринимают одни и те же факторы среды. Чем разнообразнее возможность организмов, тем менее напряженной будет конкуренция.

Хищничество и паразитизм. Хищником называют свободно живущий организм, питающийся другими животными организмами или растительной пищей. *Паразит* не ведет свободной жизни, и хотя бы на одной стадии своего развития он связан с поверхностью (эктопаразит) или с внутренними органами (эндопаразит) другого организма, являющегося его хозяином.

Хищник, как правило, вначале ловит жертву, убивает ее, а затем поедает. Для этого у него имеются специальные приспособления (рис. 6.3).

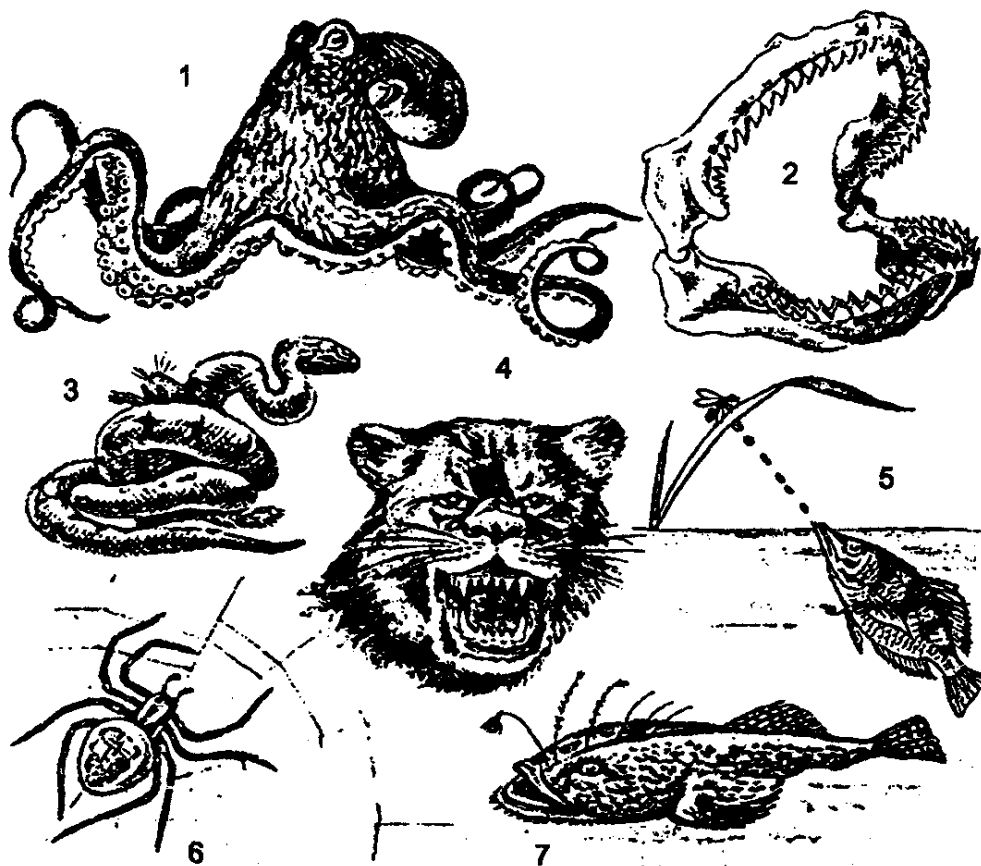


Рис. 6.3. Приспособления к хищничеству (поимка и удержание жертвы, по Е. А. Криксунову и др., 1995):

1 — осьминог; 2 — челюсть акулы; 3 — удав; 4 — лев; 5 — брызгун; 6 — паук-крестовик; 7 — удильщик

У жертв также исторически выработались защитные свойства в виде анатомо-морфологических, физиологических, биохимических и других особенностей. Например, вырослы тела, шипы, колючки, панцири, защитная окраска, ядовитые железы, способность быстро прятаться, зарываться в рыхлый грунт, строить недоступные хищникам убежища, прибегать к сигнализации об опасности. Вследствие таких обоюдных приспособлений формируются определенные группировки организмов в виде специализированных хищников и специализированных жертв. Так, основной пищей рыси (*Felix lynx*) служат зайцы, а волк (*Canis lupus*) — типичный многоядный хищник.

Большинство плотоядных животных, как было отмечено, в состоянии убить и сразу же съесть свою жертву, так как превосходят ее размерами и силой. Паразиты же выбрали несколько другой путь: они получают от хозяина все необходимое и тем самым подрывают его здоровье, от которого зависит их собственное благополучие.

Паразитов подразделяют на две основные категории: *микропаразитов* и *макропаразитов* (рис. 6.4).

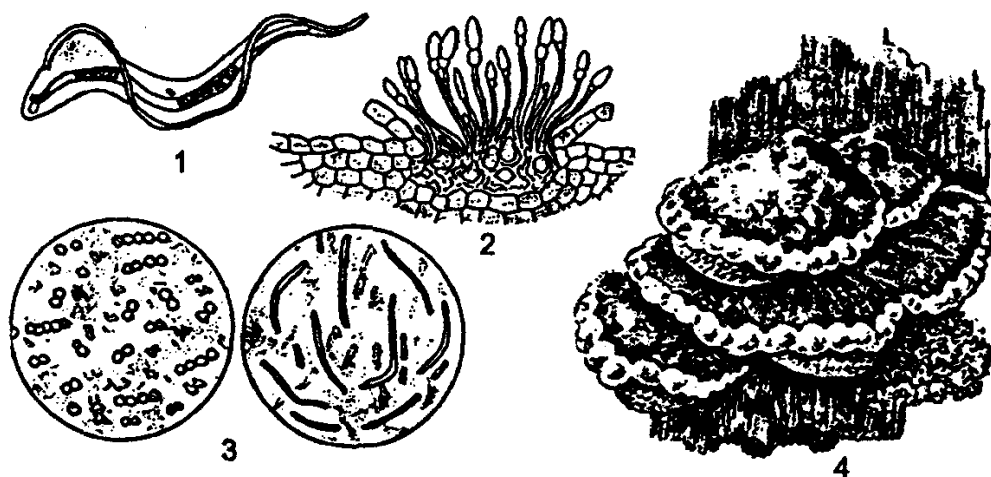


Рис. 6.4. Микропаразиты:

- 1 — трипаносома (сильно увеличено);
 3 — бактерии-микропаразиты; 2 — мучнистая роса;
 4 — гриб-трутовик

К микропаразитам относятся те, которые непосредственно размножаются внутри тела хозяина (вирусы, бактерии, простейшие). Микропаразиты растут в теле хозяина, но, размножаясь, образуют особые формы, которые покидают одного хозяина, чтобы заселить другого. К макропаразитам животных относятся круглые и ленточные черви (главные макропаразиты животных), вши, блохи, клещи, грибы.

Паразитизм, таким образом, возникает в процессе тесного контакта различных видов организмов на базе пищевых и пространственных связей, характерен для многих организмов, наиболее широко распространен среди простейших, червей, в несколько меньшей степени среди членистоногих.

Среди насекомых с полным превращением есть паразитоидные виды, которые вначале ведут себя как паразиты, щадя жизненно важные органы своего хозяина, а под конец развития, съедая своего хозяина, становятся настоящими хищниками. И хищник, и паразит могут существовать за счет одного или нескольких видов. При этом различают следующие виды.

Полифаги — нападающие на большое число видов. К ним относятся многие хищные млекопитающие и насекомые. Насекомые фитофаги питаются самыми различными растениями. Так, гусеница стеблевого мотылька *Pyrausta nubilalis* поражает более чем 200 видов растений.

Олигофаги — живущие за счет нескольких, часто близких видов. , Колорадский жук питается картофелем и другими растениями, относящимися, главным образом, к пасленовым. Солитер эхинококк паразитирует в человеке, свинье, различных плотоядных и грызунах.

Монофаги — живущие за счет только одного хозяина. Моно-фагия является правилом для многих паразитических насекомых, например, таких, как афелинус (*Aphelinus mali*) — на кровяной тле, грушевый цветоед (*Anthonomus rugi*) — на груше, шелковичный червь — на тутовом дереве.

Принцип совпадения. Чтобы паразит мог развиваться, необходимо совпадение во времени поражаемой стадии хозяина и агрессивной стадии паразита. Паразит развиваться не может, если нет хозяина, если он недоступен или не находится на приемлемой стадии. Этот принцип Таленхорст (Thalenhorst, 1950) назвал *совпадением*. Изучение совпадения, например между насекомыми-фитофагами и их растениями-хозяевами, имеет практическое значение. Примером может служить яблоневый цветоед. Установлено, что период кладки яиц цветоеда тесно связан со стадиями развития цветочных почек яблони, т. е. существует *фенологическое совпадение* между кладкой долгоносика и развитием его растения-хозяина.

Фенологическое совпадение должно существовать и между двумя видами животных, один из которых живет за счет другого. Совпадение должно быть очень точным в случае паразита, цикл развития которого охватывает нескольких промежуточных хозяев.

Комменсализм. Взаимоотношения, при которых один из партнеров получает пользу, не нанося ущерба другому, как уже было отмечено ранее, называются комменсализмом. Комменсализм, основанный на потреблении остатков пищи хозяев, называют еще и *нахлебничеством*. Таковы, например, взаимоотношения львов и гиен, подбирающих остатки недоеденной пищи, или акул с рыбами-прилипалами (рис. 6.5).

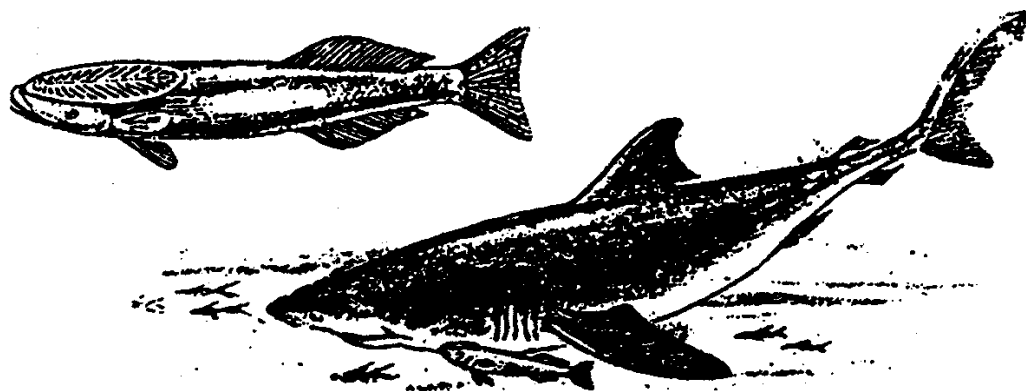


Рис. 6.5. Нахлебничество: на примере взаимоотношений акулы и рыбы-прилипалы (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Наглядный пример комменсализма дают некоторые усоногие рачки, прикрепляющиеся к коже кита. Они получают при этом преимущество — более быстрое передвижение, а киту не причиняют практически никаких неудобств. В целом же у партнеров нет никаких общих интересов, и каждый отлично существует сам по себе. Однако подобные союзы обычно облегчают одному из участников передвижение или добывание пищи, поиска убежища и т. д. Иногда такие союзы могут быть абсолютно фиктивными. Так, в раковинах моллюсков и панцирях ракообразных порой встречаются различные виды мшанок. Этот союз совершенно случаен, так как мшанки способны прикрепляться к любой твердой поверхности, и все же многие животные, ведущие сидячий образ жизни, оказываются в выигрыше, прикрепившись к живому существу. Хозяин переносит их с места на место. Нередко при движении возникающий поток воды облегчает им добывание пищи.

Комменсализм особенно часто встречается среди морских животных. Хорошо известны отношения, связывающие некоторых рыб с акулами. Рыбки-лоцманы, питающиеся объедками со «стола» акулы, беспрестанно снуют небольшими косячками у ее носа. Другим примером являются животные, нора которых служит убежищем для различных «гостей», питающихся объедками со стола хозяина. В норах млекопитающих, гнездах птиц и жилищах общественных насекомых (рис. 6.6) насекомые-комменсалы представлены большим числом видов (например, в норах альпийского сурка до 110 видов жуков).

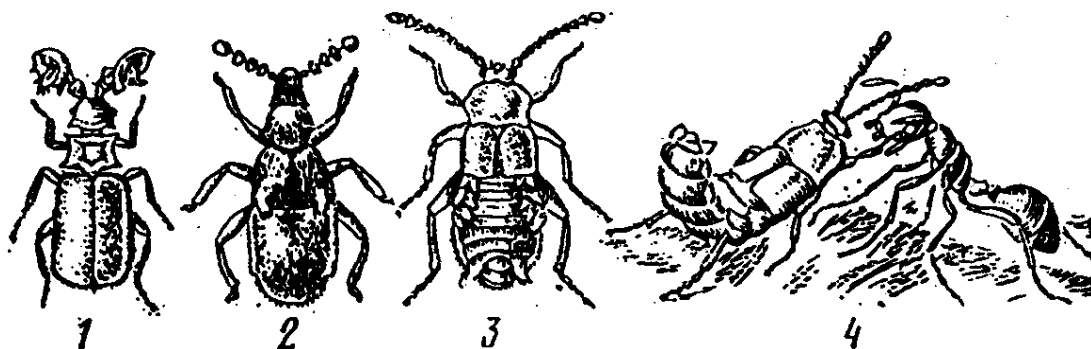


Рис. 6.6. Сожители муравьев:

1 — пауссус; 2 — ошупник; 3 — атемелес;
4 — атемелес просит пищу у муравья

Среди комменсалов различают *фолеоксенов*, которые в норах и гнездах встречаются случайно, *фолеофилов*, встречающихся в этих убежищах чаще, чем в окружающей среде, и *фолеобистов*, которые проводят в них всю жизнь. Отношения типа комменсализма играют важную роль в природе, так как способствуют более тесному сожительству видов, более полному освоению среды и использованию пищевых ресурсов.

Мутуализм, симбиоз. Можно привести многочисленные *примеры мутуализма*, или обоюдодовыгодных отношений особей разных видов. Таковы, например, взаимоотношения птиц и носорога. Птицы кормятся насекомыми-паразитами на коже носорога, а их взлет служит ему сигналом опасности.

Собственно *симбиоз* — неразделимые взаимопользные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма. Классические примеры симбиоза — сожительство рака-отшельника (*Pagurus bennhardus*) и актинии (*Sagartia parasitica*), рис. 6.7; зеленой гидры с одноклеточными водорослями.

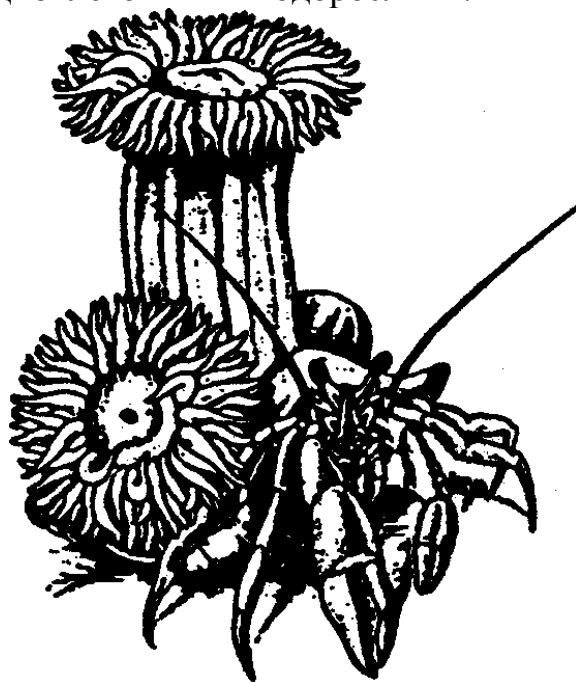


Рис. 6.7. Симбиоз рака-отшельника и актинии

Одноклеточные водоросли (зоохлорелла) живут в протоплазме клеток, выстилающих пищеварительную полость зеленой гидры. Они поставляют своему хозяину кислород и пищу, а взамен получают вещества, необходимые для фотосинтеза, и надежное укрытие.

форму симбиоза приобретают взаимоотношения при питании муравьев (*Formica cinerea*) сахаристыми выделениями гусениц бабочки-годубянки. Муравьи защищают этих гусениц от хищников и паразитов, а гусеницы перед

окукливанием зарываются в муравейник. Аналогичные отношения отмечаются у многих муравьев и тли: муравьи защищают тлю от врагов, а сами питаются их выделениями.

В животном мире пример наиболее совершенного симбиоза дают термиты, пищеварительный тракт которых служит приютом для жгутиковых или бактерий. Благодаря симбиозу, термиты в состоянии переваривать древесину, а микроорганизмы получают убежище, вне которого они существовать не способны.

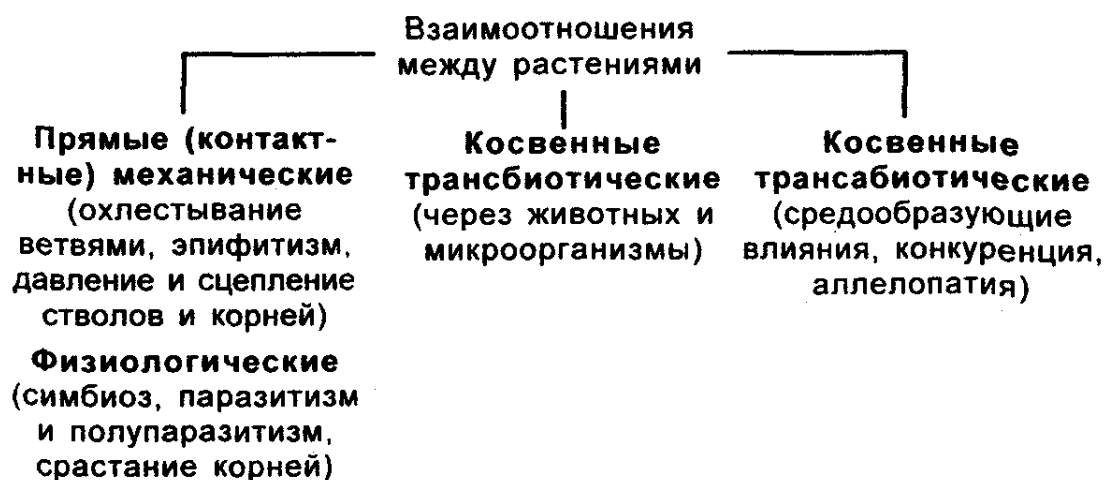
Следует отметить, что комплекс отношений типа симбиоза содержит в себе самые разнообразные переходы — от отношений более или менее индифферентных до таких, когда оба члена сожительства обеспечивают взаимное существование. «Хотя таким образом нет доказательства, чтобы какое бы то ни было животное совершало действие, исключительно полезное для другого вида, — писал Чарльз Дарвин в «Происхождении видов», — однако каждый стремится извлечь выгоду из инстинктов других».

6.3. Фитогенные факторы

В отечественной литературе наиболее распространена классификация форм взаимоотношений между растениями по В. Н. Сукачеву (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Основные формы взаимоотношений между растениями (по В. Н. Сукачеву, Н. В. Дылису и др., 1964)



Прямые (контактные) взаимодействия между растениями.

Примером *механического взаимодействия* является повреждение ели и сосны в смешанных лесах от схлестывающего действия березы. Раскачиваясь от ветра, тонкие ветви березы ранят хвою ели, сбивают легкие молодые иглы. Очень заметно это сказывается зимой, когда ветви березы безлиственны.

Взаимное давление и сцепление стволов нередко оказывает отрицательное воздействие на растения. Однако чаще такие контакты встречаются в подземной сфере, где большие массы корней тесно переплетаются в небольших объемах почвы. Типы контактов могут быть различны — от простого сцепления до прочного срастания. Так, губительным в жизни многих деревьев тропического леса оказывается разрастание лиан, зачастую приводящее к обламыванию ветвей под их тяжестью и усыханию стволов в результате сдавливающего действия вьющимися стеблями или корнями. Не случайно некоторые лианы называют «душителями» (рис. 6.8).

К форме механических контактов относится и использование в качестве субстрата одним растением другого. Растения, живущие на других растениях (на ветвях, стволах деревьев), без связи с почвой, получили название *эпифитов*, а поселяющиеся на листьях — *эпифиллов*. В отличие от паразитов они не вступают в прямой физиологический контакт с растением-субстратом, а самостоятельно существуют как автотрофные организмы.



Рис. 6.8. Растения-лианы:

1 — фикус-душитель; 2 — повилика;

3 — жимолость вьющаяся (по Н. М. Черновой и др., 1995)

По мнению ученых, около 10% всех видов растений ведут эпифитный образ жизни. Наиболее богаты эпифитами тропические леса. К ним относятся многие виды бромелиевых, орхидейных (рис. 6.9).

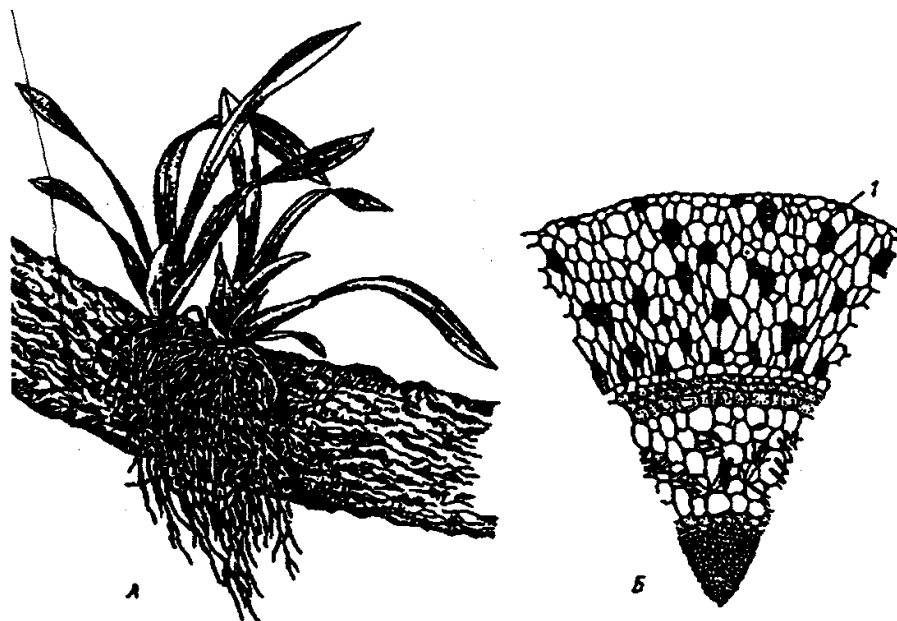


Рис. 6.9. Эпифитная орхидея с воздушными корнями:

А — общий вид; Б — поперечный срез воздушного корня с наружным слоем всасывающей ткани (1) (по В. Л. Комарову, 1949)

Экологический смысл эпифитизма состоит в своеобразной адаптации к световому режиму в густых тропических лесах: возможность выбраться к свету в верхних ярусах леса без больших затрат веществ на рост. Само происхождение эпифитного образа жизни связывают с борьбой растений за свет. Эволюция многих эпифитов зашла так далеко, что они уже потеряли способность расти вне растительного субстрата, т. е. являются облигатными эпифитами. Вместе с тем есть виды, которые в оранжерейных условиях могут расти и в почве.

Физиологические контакты между растениями включают паразитизм, симбиоз, сапрофитизм, срастание корней. Паразитизм — наиболее яркий пример прямых физиологических воздействий между растениями, т.е. переход одного из партнеров на гетеротрофный способ питания и существование за счет организма-хозяина. Например, повилика, питающаяся соками клевера, угнетает его, не только подавляя развитие вегетативной массы, но и заметно задерживая развитие растения. Как правило, урожай семян пораженного клевера невысокий. Через несколько лет на лугу, где появилась повилика, клевер полностью выпадает из травостоя. Паразиты, как уже было отмечено ранее, многочисленны среди грибов и бактерий, значительно меньше распространены среди цветковых растений.

Характерным примером тесного симбиоза, или мутуализма между растениями является сожительство водоросли и гриба, которые образуют особый целостный организм-лишайник (рис. 6.10).



Рис. 6.10. Лишайник-кладония (по Н. М. Черновой и др., 1995)

Связи между партнерами-симбионтами довольно сложны, и некоторые авторы называют симбиоз «хорошо урегулированным взаимным паразитизмом». Фотосинтезирующие водоросли в лишайнике снабжают гриб углеводами и другими органическими веществами (нуклеиновые кислоты, протеины, активаторы роста и др.). Грибы поставляют водоросли влагу и минеральные вещества. При недостатке же света и других неблагоприятных условий, угнетающих фотосинтез, водоросли могут получать от грибов и органические вещества, которые они поглощают из субстрата. Лишайники интересны тем, что на их примере можно наблюдать постепенную эволюцию от паразитизма к мутуализму. У более примитивных лишайников гриб фактически проникает в клетки водоросли и по существу является паразитом (рис. 6.11А). У эволюционно более развитых видов водоросль и гриб живут в гармоничных отношениях, принося друг другу взаимную пользу (рис. 6.11Б и В).

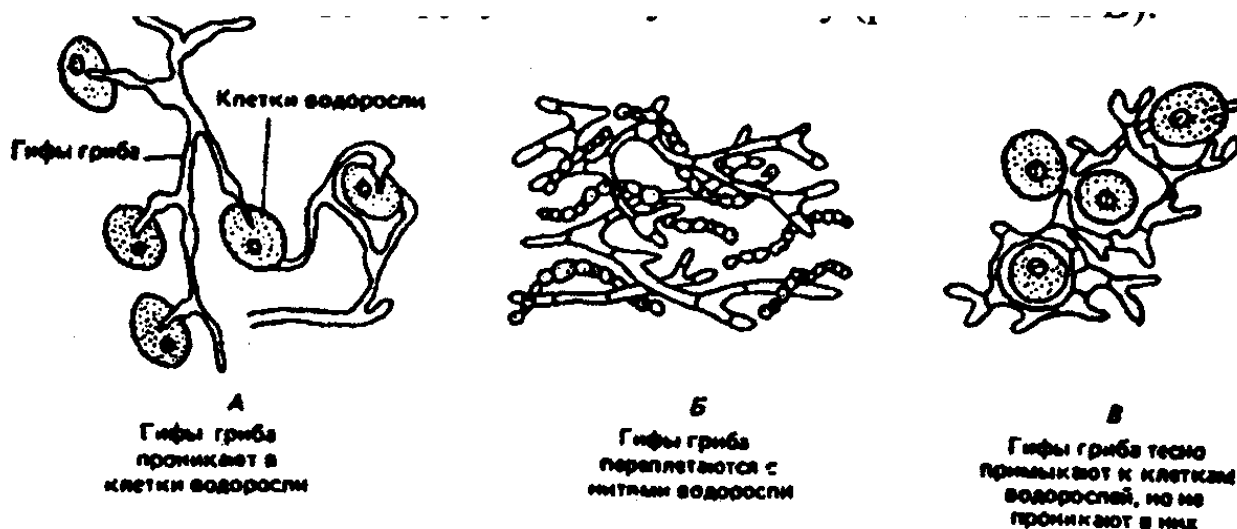


Рис. 6.11. Направление эволюции от паразитизма к мутуализму у лишайников (по Е. Одуму, 1963)

Другой пример симбиоза — это сожительство высших растений с

бактериями, так называемая *бактериотрофия*. Симбиоз с клубеньковыми бактериями-азотофиксаторами широко распространен среди бобовых (93% изученных видов) и мимозовых (87%). Так, бактерии из рода *Rhizobium*, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений, обеспечиваются пищей (сахара) и местообитанием, а растения получают от них взамен доступную форму азота (рис. 6.12).

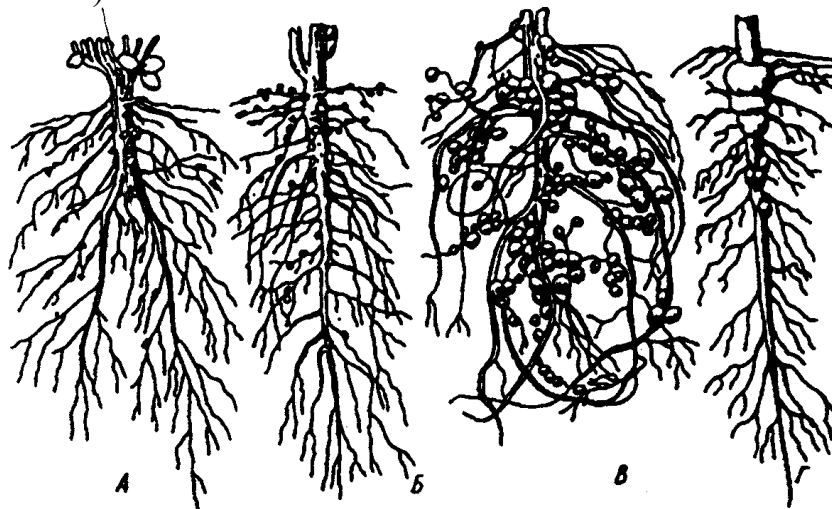


Рис. 6.12. Клубеньки на корнях бобовых растений:

А — клевера красного; Б — фасоли; В — сои; Г — люпина (по А. П. Шенникову, 1950)

Встречается симбиоз мицелия гриба с корнем высшего растения, или микоризообразование. Такие растения называют *микотрофными*, или *микотрофами*. Поселяясь на корнях растений, гифы гриба обеспечивают высшее растение колоссальной всасывающей способностью. Поверхность соприкосновения клеток корня и гиф в эктотрофной микоризе в 10—14 раз больше, чем поверхность контакта с почвой клеток «голого» корня, тогда как всасывающая поверхность корня за счет корневых волосков увеличивает поверхность корня лишь в 2—5 раз. Из изученных в нашей стране 3425 видов сосудистых растений микориза обнаружена у 79%.

В качестве примера симбиоза грибов с насекомыми можно привести симбиоз грибка *Septobasidium* с насекомым-червецом из сем. *Coccidae*, дающее новое симбиотическое образование — лаки, которое как единый организм введено в культуру человеком.

Отдельную группу растений с гетеротрофным питанием составляют *сапрофиты* — виды, которые используют в качестве источника углерода органические вещества отмерших организмов. В биологическом круговороте это важное звено, осуществляющее разложение органических остатков и перевод сложных соединений в более простые, представлено большей частью грибами, актиномицетами, бактериями. Встречаются среди цветковых у представителей семейств грушанковых, орхидных и др. Примерами цветковых, полностью утративших хлорофилл и перешедших на питание готовыми органическими веществами, являются сапрофиты хвойных лесов — поддельник обыкновенный (*Monotropa hypopitys*), надбородник безлистный (*Epipogon aphyllus*). Среди мхов и папоротников сапрофиты редки.

Срастание корней близко растущих деревьев (одного и того же вида или родственных видов) относится также к прямым физиологическим контактам между растениями. Явление не столь, уж редкое в природе. В густых насаждениях ели *Picea flies* срастаются корнями около 30% всех деревьев. Установлено, что между сросшимися деревьями существует обмен через корни в виде переноса питательных веществ и воды. В зависимости от степени различия или сходства потребностей сросшихся партнеров между ними не исключены отношения как конкурентного характера в виде перехвата веществ более развитым и сильным деревом, так и симбиотические.

Определенное значение имеет форма связей в виде *хищничества*. Хищничество широко распространено не только между животными, но и между растениями и животными. Так, ряд насекомоядных растений (росянка, непентес) относят к хищникам (рис. 6.13).



Рис. 6.13. Хищное растение росянка (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Косвенные трансбиотические взаимоотношения между растениями (через животных и микроорганизмы). Важная экологическая роль животных в жизни растений состоит в участии в процессах опыления, распространения семян и плодов. Опыление растений насекомыми, получившее название *энтомофилии*, способствовало выработке ряда приспособлений как у растений, так и насекомых. Назовем здесь такие интересные адаптации *энтомофильных* цветков:] узоры, образующие «путевые нити» к нектарникам и тычинкам, нередко видимые только в ультрафиолетовых лучах, доступных для зрения насекомых; различие окраски цветков до и после



опыления; синхронизация суточных ритмов раскрытия венчика и тычинок, обеспечивающие безошибочное попадание пыльца на тело насекомого, а с него — на рыльце другого цветка и т. д. (рис. 6.14).

Рис. 6.14. Насекомое на цветке (по Н. М. Черновой и др., 1995)

Разнообразное и сложное строение цветков (различная форма лепестков, симметричное или несимметричное их расположение, наличие определенных соцветий), называемое *гетеростилией*, — все это приспособления к строению тела и поведению строго конкретных насекомых. Например, цветки дикой моркови (*Daucus carota*), тмина (*Carum carvi*), опыляемые муравьями, цветки копытня *Asarum europaeum*, опыляемые муравьями и соответственно не поднимающиеся из-под лесной подстилки.

В опылении растений принимают участие и птицы. Опыление растений с помощью птиц, или *орнитофилия*, находит широкое распространение в тропических и субтропических областях южного полушария. Здесь известно около 2000 видов птиц, которые опыляют цветки при поисках нектара или ловле насекомых, прячущихся в их венчиках. Среди них наиболее известные опылители-нектарницы (Африка, Австралия, Южная Азия) и колибри (Южная Америка). Цветки орнитофильных растений крупные, ярко окрашенные. Преобладает ярко-красная окраска, наиболее привлекательная для колибри и других птиц. В некоторых орнитофильных цветках существуют специальные защитные устройства, которые не дают нектару вылиться при движении цветка.

Реже встречается опыление растений млекопитающими, или *зоо-гамия*. Большой частью зоогамия отмечается в Австралии, в лесах Африки и Южной Америки. Например, австралийские кустарники из рода *Driandra* опыляются с помощью кенгуру, охотно пьющих их обильный нектар, переходя от цветка к цветку.

Распространение семян, плодов, спор растений при помощи животных называют *зоохорией*. Среди растений, чьи семена, плоды разносятся животными, в свою очередь, различают *эпизоохорные*, *эндозоохорные* и *синзоохорные*. Эпизоохорные растения большей частью открытых мест обитания имеют у семян, плодов всевозможные приспособления для закрепления и удерживания на поверхности тела животных (выросты, крючки, прицепки и др.), например лопухи большой и паутинистый, липучка обыкновенная и т. д.

В кустарниковом ярусе лесов, где обитает много птиц, преобладают эндозоохорные виды растений. Их плоды съедобны или привлекательны для птиц яркой окраской или сочным околоплодником. Следует отметить, что у семян многих эндозоохорных растений повышается всхожесть, а иногда и способность к прорастанию только после прохождения через пищевой тракт животного — многие аралиевые, яблоня Сиверса (*Malus sieversii*) и др.

Съедобные плоды и семена дуба, сосны сибирской животные не поедают сразу, а растаскивают и складывают в запас. Значительная их часть при этом теряется и дает при благоприятных условиях начало новым растениям. Данное распространение семян и плодов получило название *синзоохории*.

В косвенных трансбиотических взаимоотношениях между растениями

нередко выступают микроорганизмы. Ризосфера корней многих деревьев, к примеру, дуба, сильно изменяет почвенную среду, особенно ее состав, кислотность, и тем самым создает благоприятные условия для поселения там различных микроорганизмов, в первую очередь бактерий, таких, как *Azotobacter chroococcum*, *Tricholoma legnorum*, *Pseudomonas* sp. Эти бактерии, поселившись здесь, питаются выделениями корней дуба и органическими остатками, создаваемыми гифами микоризообразующих грибов. Бактерии, живя рядом с корнями дуба, служат своеобразной «оборонительной линией» от проникновения в корни патогенных грибов. Этот биологический барьер создается при помощи антибиотиков, выделяемых бактериями. Поселение бактерий в ризосфере дуба сразу же сказывается положительно на состоянии растений, особенно молодых.

Косвенные трансабиотические взаимоотношения между растениями (средообразующие влияния, конкуренция, аллелопатия). Изменение растениями среды — это наиболее универсальный и широко распространенный тип взаимоотношений растений при их совместном существовании. Когда тот или иной вид или группа видов растений в Ц результате своей жизнедеятельности сильно изменяет в количественном и качественном отношении основные экологические факторы таким образом, что другим видам сообщества приходится жить в условиях, которые значительно отличаются от зонального комплекса факто-^{ls} ров физической среды, то это говорит о средообразующей роли, средообразующем влиянии первого вида по отношению к остальным. Один из них — взаимовлияния через изменения факторов микроклимата (например, ослабление солнечной радиации внутри растительного покрова, обеднение ее фотосинтетически активными лучами, изменение сезонного ритма освещенности и др.). Одни растения влияют на другие и через изменение температурного режима воздуха, его влажности, скорости ветра, содержания углекислоты и т. д.

Другой путь взаимодействия растений в сообществах — через напочвенный слой мертвых растительных остатков, называемых на лугах и в степях ветошью, травянистым спадом или «степным войлоком», а в лесу — подстилкой. Этот слой (иногда толщиной в несколько сантиметров) вызывает затруднение для проникновения семян и спор в почву. Прорастающие в слое ветоши (или на нем) семена часто гибнут от высыхания раньше, чем корни проростков достигнут почвы. Для семян, попавших в почву и прорастающих, напочвенные остатки могут являться серьезным механическим препятствием на пути ростков к свету. Возможны и взаимоотношения растений через содержащиеся в подстилке продукты распада растительных остатков, тормозящих или, напротив, стимулирующих рост растений. Так, в свежем опаде ели или бука содержатся вещества, тормозящие прорастание ели и сосны, а в местах со скудными осадками и слабым промыванием подстилки могут угнетать естественное возобновление древесных пород. Водные вытяжки из лесных подстилок отрицательно действуют и на рост многих степных трав.

Существенный путь взаимного влияния растений — это взаимодействие через химические выделения. Растения выделяют в окружающую среду

(воздух, воду, почву) разнообразные химические вещества в процессе гуттации, секреции нектара, эфирных масел, смол и т. д.; при вымывании минеральных солей дождевыми водами листья, например, деревьев, теряют калий, натрий, магний и другие ионы; в ходе метаболизма (корневые выделения) газообразные вещества, выделяемые надземными органами, — непредельные углеводороды, этилен, водород и др.; при нарушении целостности тканей и органов растения выделяют летучие вещества, так называемые фитонциды, и вещества из отмерших частей растений (рис. 6.15).

Выделяемые соединения необходимы растениям, но с развитием большой поверхности тела растений их потеря столь же неизбежна, как и транспирация.

Химические выделения растений могут служить одним из способов взаимодействия между растениями в сообществе, оказывая на организмы либо токсичное, либо стимулирующее действие.

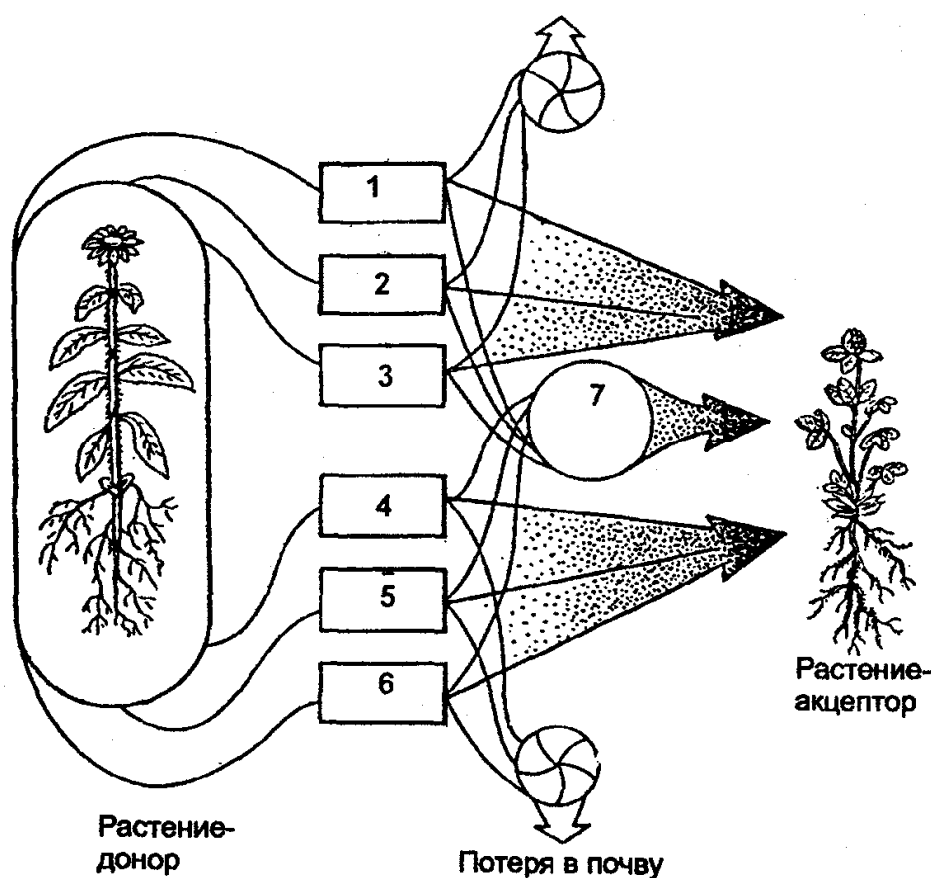


Рис. 6.15. Влияние одного растения на другое
(по А. М. Гродзинскому, 1965):

1 — миазмины; 2 — фитонцидные вещества; 3 — фитогенные вещества; 4 — активные прижизненные выделения; 5 — пассивные прижизненные выделения; 6 — посмертные выделения; 7 — переработка гетеротрофными организмами

Такие химические взаимовлияния получили название *аллелопатии*. В качестве примера можно назвать выделения соплодий свеклы, тормозящие прорастание семян куколя (*Agrostemma githago*). Нут (*Cicer arietinum*) подавляюще действует на картофель, кукурузу, подсолнечник, томаты и другие

культуры, фасоль — на рост яровой пшеницы; корневые выделения пырея (*Agropyron repens*) и костреца (*Bromus inermis*) — на растущие вблизи с ними другие травянистые растения и даже деревья. Как крайнюю форму аллелопатии или невозможность существования того или иного вида в присутствии другого в результате интоксикации среды, называют *аменсализмом*. Аменсализм соответствует прямой конкуренции, антибиозу и антагонизму. Так, благодаря выделению корнями токсических веществ ястребянка (*Hieracium pilosella*) из семейства сложноцветных вытесняет другие однолетние растения и нередко образует чистые заросли на довольно больших площадях. Многие грибы и бактерии синтезируют антибиотики, которые тормозят рост других бактерий. Аменсализм широко распространен в водной среде.

У разных видов растений степень воздействия на среду и таким образом на жизнь обитателей неодинакова в соответствии с особенностями их морфологии, биологии, сезонного развития и др. Растения, наиболее активно и глубоко преобразующие среду и определяющие условия существования для других сообществ, называют *эдификаторами*. Различают сильные и слабые эдификаторы. К сильным эдификаторам относят ель (сильное затенение, обеднение почв питательными веществами и др.), сфагновые мхи (задержание влаги и создание избыточного увлажнения, увеличение кислотности, особый температурный режим и т. д.). Слабыми эдификаторами являются лиственные породы с ажурной кроной (береза, ясень), растения травянистого покрова лесов.

В качестве особой формы трансбиотических взаимоотношений растений выделяют *конкуренцию*. Это те взаимные или односторонние отрицательные влияния, которые возникают на основе использования энергетических и пищевых ресурсов мест-обитания. Сильное влияние на жизнь растений оказывает конкуренция за почвенную влагу (особенно четко выражена в областях с недостаточным увлажнением) и конкуренция за питательные вещества почвы, более заметная на бедных почвах. Примером конкуренции могут служить взаимоотношения лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*) и типчака (*Festuca sulcata*). Типчак может произрастать во влажной почве, однако в сообществе лисохвостного луга не растет из-за подавления теневыносливым и быстро растущим лисохвостом. В формировании типчакового или лисохвостного фитоценоза решающее значение имеет не влажность почвы, а конкурентные взаимоотношения типчака и лисохвоста. В более сухих местообитаниях типчак заглушает лисохвост, а на увлажненных лугах выходит победителем лисохвост.

Межвидовая конкуренция проявляется у растений так же, как и внутривидовая (морфологические изменения, снижение плодовитости, численности и т. д.). Доминирующий вид постепенно вытесняет или сильно снижает его жизнеспособность.

Самая жесткая конкуренция, нередко с непредвиденными последствиями, возникает при введении в сообщества новых видов растений без учета уже сложившихся отношений.

6.4. Антропогенные факторы

Действие человека как экологического фактора в природе огромно и чрезвычайно многообразно. В настоящее время ни один из экологических факторов не оказывает столь существенного и всеобщего, т. е. планетарного, влияния, как человек, хотя это наиболее молодой фактор из всех действующих на природу. 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 видов животных и растений, существенным образом преобразовывал естественные природные комплексы. На значительных территориях создал особые, нередко практически оптимальные условия жизни многим видам. Создавая огромное разнообразие сортов и видов растений и животных, человек способствовал появлению у них новых свойств и качеств, обеспечивающих им выживание в неблагоприятных условиях, как в борьбе за существование с другими видами, так и невосприимчивости к воздействию патогенных организмов. 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. Таким образом, действия человека обогащают или обедняют сообщества. Влияние антропогенного фактора в природе может быть как *сознательным*, так и *случайным*, или *неосознанным*. Человек, распахивая целинные и залежные земли, создает сельскохозяйственные угодья (агроценозы), выводит высокопродуктивные и устойчивые к заболеваниям формы, расселяет одних и уничтожает других. 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.

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.

Человек может оказывать на животных и растительный покров Земли как *прямое влияние*, так и *косвенное*. Разнообразие современных форм воздействия человека на растительность представлено в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Основные формы влияния человека на растения и растительный покров (по А. Г. Воронову, 1973)

Изменение' ареалов растений	Непосредственное воздействие человека на растительный покров	Создание новых местообитаний, не свойственных ненарушенной	Создание культурных фитоцено-зов	Охрана растительно го покрова
Завоз растений	Распашка	Создание руде- ральных местообитаний	Создание культурных фитоценозов	Охрана растительног о покрова
Сокращение ареалов и уничтожение растений	Осушение Вырубка лесов Орошение и обводнение Выжигание Выпас диких животных Выкашивание Действие дымов и других вредных примесей в	Создание отвалов и других промышленных выбросов		

Если к вышеуказанному добавить воздействие человека на животных, т.е. промысел, их акклиматизацию и реакклиматизацию, многообразные формы растениеводческой и животноводческой деятельности, мероприятия по защите растений, охране редких и экзотических видов и т. д., то только одно перечисление этих воздействий на природу показывает грандиозность антропогенного фактора.

Изменения происходят не только в крупных масштабах, но и на примере отдельных видов. Так, на освоенных землях, на посевах злаковых культур стали в больших количествах размножаться пшеничный трипе, злаковые тли, некоторые виды клопов (например, вредная черепашка), различные виды стеблевых блошек, толстоножка и другие. Многие из этих видов стали доминирующими, а ранее существовавшие здесь виды исчезли или были оттеснены в крайние условия. Изменения коснулись не только растительного и животного мира, но и микрофлоры и микрофауны, изменились многие звенья в цепях питания.

Деятельность человека вызывает целый ряд приспособительных реакций и со стороны организмов. Появление сорняков, придорожных растений, амбарных вредителей и других подобных им является следствием приспособления организмов к человеческой деятельности в природе. Появились организмы, частично или полностью утратившие связь со свободной природой, например амбарный долгоносик (*Calandra granaria* L.), мучные жуки из рода (*Tribolium*) и др. Многие местные виды приспособляются не только к жизни в условиях агроценозов, но вырабатывают особые приспособительные черты строения, приобретают ритмы развития, которые соответствуют условиям жизни на обрабатываемых территориях, способные выдерживать уборку урожая, различные агротехнические мероприятия (систему обработки почв, севообороты), химические средства борьбы с вредителями. Одним из наиболее ярких примеров приспособления к результатам человеческой деятельности является так называемый индустриальный механизм, порожденный промышленной революцией. Так, до 1850 г. в Англии были известны только светлые бабочки березовой пяденицы (рис. 6.16А),

окрашенные под цвет лишайников, покрывающих стволы деревьев.

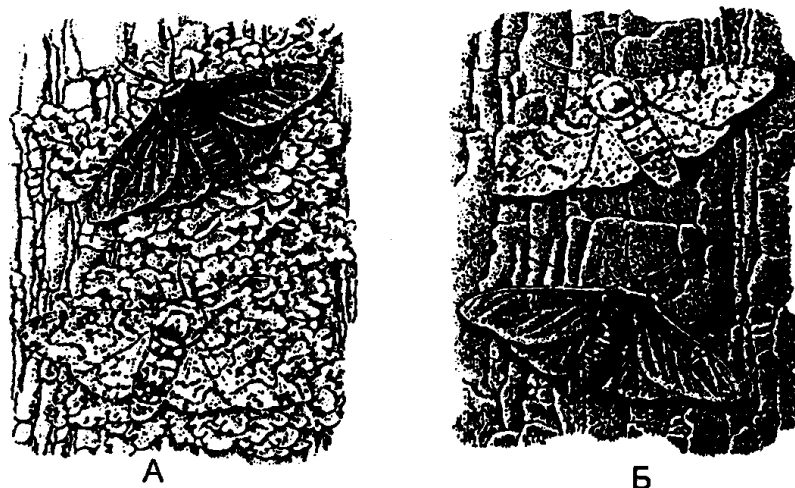


Рис. 6.16. Маскировка бабочки березовой пяденицы (по П. Фарбу, 1971)

После того, как светлые лишайники основательно прокоптились фабричным дымом, светлая пяденица стала все более вытесняться темной, менее заметной и поэтому лучше укрывающейся от глаз хищников на потемневших стволах деревьев (рис. 6.16Б). Всего за несколько десятилетий темная форма пяденицы полностью вытеснила светлую везде, за исключением сельских местностей.

В ответ на химические обработки посевов, проводимые человеком, у многих организмов появилась устойчивость к различным инсектицидам, обусловленная появлением особых, видоизмененных по химическому составу липоидов. Способностью жировой ткани растворять и накапливать в себе значительное количество яда, а также и в связи с усилением ферментативных реакций в обмене веществ, способностью превращать ядовитые вещества в нейтральные или неядовитые. К приспособлениям у организмов, связанных с деятельностью человека, относятся сезонные миграции синиц из леса в город и обратно. Зимой в городах эти птицы с поразительной тщательностью и регулярностью обследуют одно окно жилого дома за другим. В поисках корма сдирают клювом бумажную упаковку с коробок, пакетов и других предметов, по внешнему виду далеких от «привычных» кормовых объектов, встречающихся им в условиях леса.

Примером влияния антропогенного фактора служит и способность скворцов занимать под гнезда скворечники. Скворцы отдают предпочтение искусственным домикам и в том случае, когда рядом на дереве имеется дупло. И таких примеров много, все они свидетельствуют о том, что влияние человека на природу является мощным экологическим фактором.

7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ

Одно из фундаментальных свойств живой природы — это цикличность большинства происходящих в ней процессов. Между движением небесных тел и живыми организмами на Земле существует связь (рис. 7.1).

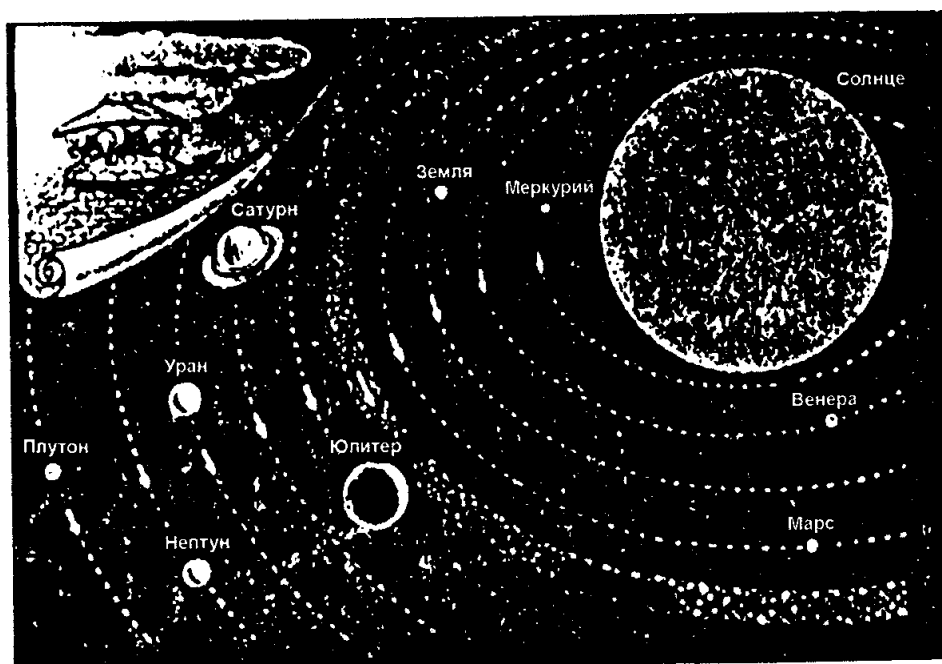


Рис. 7.1. Солнечная система: Солнце и девять больших планет

Живые организмы не только улавливают свет и тепло солнца и луны, но и обладают различными механизмами, точно определяющими положение Солнца, реагирующими на ритм приливов, фазы луны и движение нашей планеты. Они растут и размножаются в ритме, который приурочен к

продолжительности дня и смене времени года, обусловленном в свою очередь движением Земли вокруг Солнца. Совпадение фаз жизненного цикла с временем года, к условиям которого они приспособлены, имеет решающее значение для существования вида. В процессе исторического развития циклические явления, происходящие в природе, были восприняты и усвоены живой материей, и у организмов выработалось свойство периодически изменять свое физиологическое состояние.

Равномерное чередование во времени каких-либо состояний организма называется *биологическим ритмом*.

Различают внешние (экзогенные), имеющие географическую природу и следующие за циклическими изменениями во внешней среде, и внутренние (эндогенные), или физиологические, ритмы организма.

7.1. Внешние ритмы

Внешние ритмы имеют географическую природу, связаны с вращением Земли относительно Солнца и Луны относительно Земли (рис. 7.2).

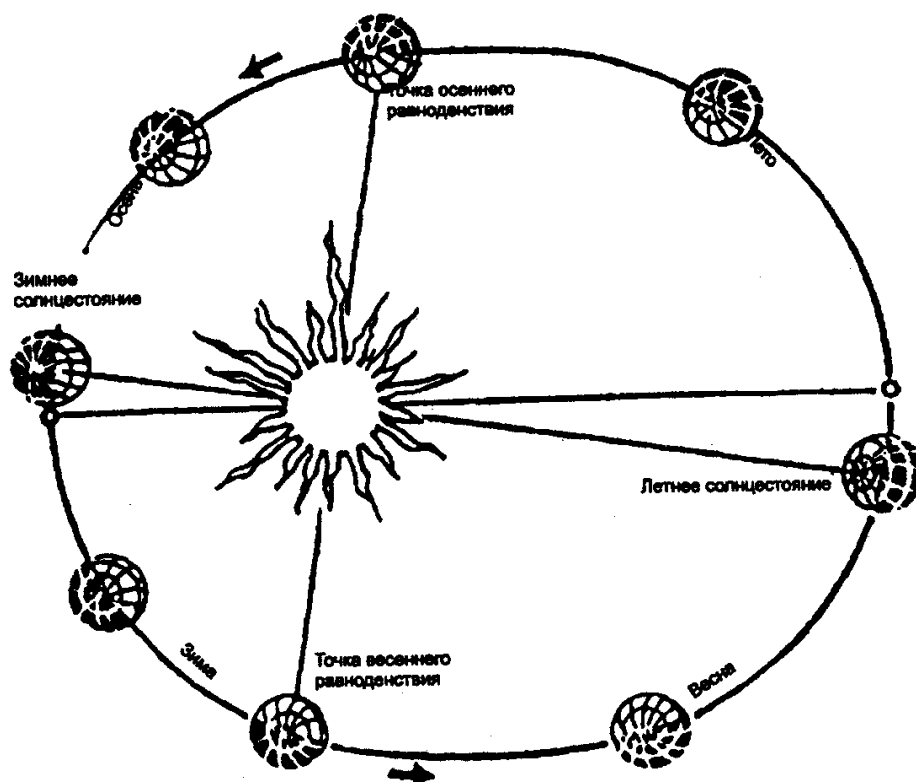


Рис 7.2. Путь Земли вокруг Солнца

Множество экологических факторов на нашей планете, в первую очередь световой режим, температура, давление и влажность воздуха, атмосферное электромагнитное поле, морские приливы и отливы и др. под влиянием этого вращения закономерно изменяются. На живые организмы воздействуют и такие космические ритмы, как периодические изменения солнечной активности. Для Солнца характерен 11-летний и целый ряд других циклов. Существенное

влияние оказывают на климат нашей планеты изменения солнечной радиации. Помимо циклического воздействия абиотических факторов внешними ритмами для любого организма являются и закономерные изменения активности, а также поведение других живых существ.

7.2. Внутренние, физиологические, ритмы

Внутренние, физиологические, ритмы возникли исторически. Ни один физиологический процесс в организме не осуществляется непрерывно. Обнаружена ритмичность в процессах синтеза ДНК и РНК в клетках, в синтезе белков, в работе ферментов, деятельности митохондрий. Деление клеток, сокращение мышц, работа желез внутренней секреции, биение сердца, дыхание, возбудимость нервной системы, т. е. работа всех клеток, органов и тканей организма подчиняется определенному ритму. Каждая система имеет свой собственный период. Действиями факторов внешней среды изменить этот период можно лишь в узких пределах, а для некоторых процессов практически невозможно. Данную ритмику называют *эндогенной*.

Внутренние ритмы организма соподчинены, интегрированы в целостную систему и выступают в конечном итоге в виде общей периодичности поведения организма. Организм как бы отсчитывает время, ритмически осуществляя свои физиологические функции. Как для внешних, так и для внутренних ритмов наступление очередной фазы прежде всего зависит от времени. Отсюда время выступает как один из важнейших экологических факторов, на который должны реагировать живые организмы, приспособляясь к внешним циклическим изменениям природы.

Изменения в жизнедеятельности организмов нередко совпадают по периоду с внешними, географическими циклами. Среди них такие, как адаптивные биологические ритмы — суточные, приливо-отливные, равные лунному месяцу, годовые. Самые важные биологические функции организма (питание, рост, размножение и т. д.) благодаря им совпадают с наиболее благоприятными для этого времени суток и года.

Суточный режим. Дважды в сутки, на рассвете и на закате, активность животных и растений на нашей планете меняется так сильно, что приводит нередко к практически полной, образно выражаясь, смене «действующих лиц». Это так называемый суточный ритм, обусловленный периодическим изменением освещенности из-за вращения Земли вокруг своей оси. В зеленых растениях фотосинтез идет только в светлое (дневное) время суток. У растений нередко открывание и закрывание цветков, поднятие и опускание листьев, максимальная интенсивность дыхания, скорость роста coleoptily и др. приурочены к определенному времени суток (рис. 7.3).

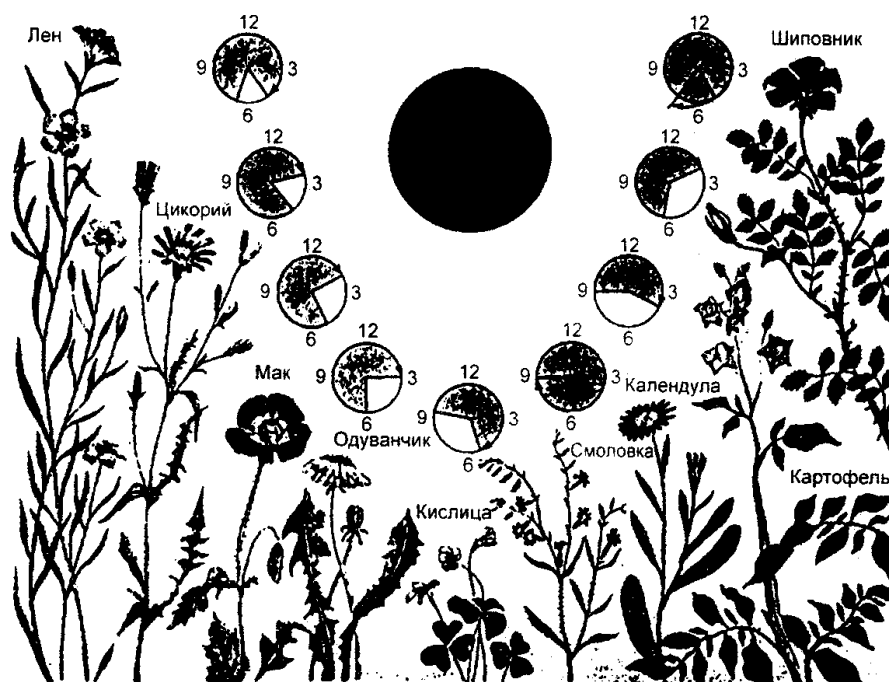


Рис. 7.3. Цветочные часы

Примечание в кружках показано примерное время открывания и закрывания цветков у разных растений

Некоторые виды животных активны лишь при солнечном свете, другие, напротив, его избегают. Различия между дневным и ночным образом жизни — явление сложное, и связано оно с разнообразными физиологическими и поведенческими адаптациями, которые выработаны в процессе эволюции. Млекопитающие обычно более активны ночью, но существуют и исключения, например человек: зрение человека, так же как и человекообразных обезьян, приспособлено к дневному свету. Свыше 100 физиологических функций, затронутых суточной периодичностью, отмечено у человека: сон и бодрствование, изменение температуры тела, ритма сердечных сокращений, глубины и частоты дыхания, объема и химического состава мочи, потоотделения, мышечной и умственной работоспособности и т. д. Таким образом, большинство животных подразделяется на две группы видов — *дневную* и *ночную*, практически не встречающиеся друг с другом (рис. 7.4).

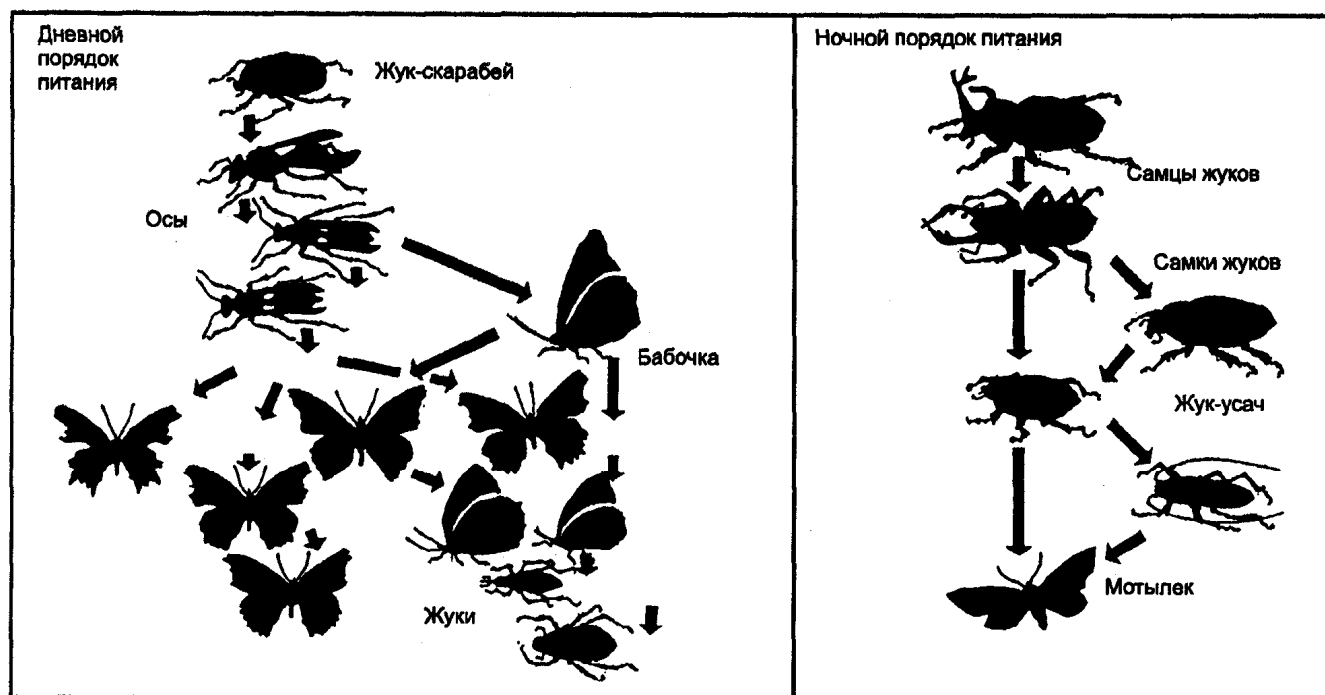


Рис. 7.4. Дневной и ночной порядок питания у животных

Дневные животные (большая часть птиц, насекомых и ящериц) на закате солнца отправляются спать, а мир заполняют ночные животные (ежи, летучие мыши, совы, большинство кошачьих, травяные лягушки, тараканы и др.). Имеются виды животных с приблизительно одинаковой активностью как днем, так и ночью, с чередованием коротких периодов покоя и бодрствования. Такой ритм называют *полифазным* (ряд хищников, многие землеройки и т. д.).

Суточный ритм четко прослеживается в жизни обитателей крупных водных систем — океанов, морей, больших озер. Зоопланктон ежедневно совершает вертикальные миграции, поднимаясь к поверхности на ночь и опускаясь днем (рис. 7.5).

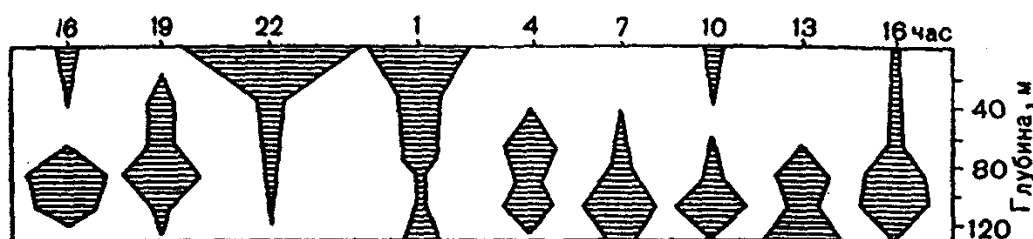


Рис. 7.5. Ежедневные вертикальные миграции самок веслоногого рачка *Calanus finmarchicus* (по Р. Дажо, 1975)

Вслед за зоопланктоном вверх-вниз перемещаются питающиеся им более крупные животные, а за ними — еще более крупные хищники. Считается, что вертикальные перемещения планктонных организмов происходят под влиянием многих факторов: освещенности, температуры, солености воды, гравитации,

наконец, просто голода. Однако первичным все же является, по мнению большинства ученых, освещенность, так как ее изменение может вызывать изменение реакции животных на гравитацию.

У многих животных суточная периодичность не сопровождается существенными отклонениями физиологических функций, а проявляется в основном изменениями двигательной активности, например, у грызунов. Наиболее четко физиологические сдвиги в течение суток можно проследить у летучих мышей. В период дневного покоя летом многие из летучих мышей ведут себя как пойкилотермные животные. Температура их тела в это время практически совпадает с температурой среды. Пульс, дыхание, возбудимость органов чувств резко понижены. Для взлета потревоженная летучая мышь долго разогревается за счет химической теплопродукции. Вечером и ночью — это типичные гомойотермные млекопитающие с высокой температурой тела, активными и точными движениями, быстрой реакцией на добычу и врагов.

Периоды активности у одних видов живых организмов приурочены к строго определенному времени суток, у других могут сдвигаться в зависимости от обстановки. Например, активность жуков-чернотелок или пустынных мокриц сдвигается на разное время суток в зависимости от температуры и влажности на поверхности почвы. Из норок они выходят рано утром и вечером (двухфазный цикл), или только ночью (однофазный цикл), или в течение всего дня. Другой пример. Открывание цветков шафрана зависит от температуры, соцветий одуванчика от освещенности: в пасмурный день корзинки не раскрываются. Эндогенные суточные ритмы от экзогенных можно отличить экспериментальным путем. При полном постоянстве внешних условий (температура, освещенность, влажность и др.) у многих видов продолжают сохраняться длительное время циклы, близкие по периоду к суточному. Так, у дрозофил такой эндогенный ритм отмечается в течение десятков поколений. Следовательно, живые организмы приспособлялись воспринимать колебания внешней среды и соответственно им настраивали свои физиологические процессы. Это происходило в основном под влиянием трех факторов — вращении Земли по отношению к Солнцу, Луне и звездам. Эти факторы, накладываясь друг на друга, воспринимались живыми организмами как ритмика, близкая, но не точно соответствующая 24-часовому периоду. Это и явилось одной из причин некоторого отклонения эндогенных биологических ритмов от точного суточного периода. Данные эндогенные ритмы получили название *циркадных* (от лат. *circa* — около и *dies* — день, сутки), т. е. приближающимися к суточному ритму.

У разных видов и даже у разных особей одного вида циркад-ные ритмы, как правило, различаются по продолжительности, но под влиянием правильного чередования света и темноты могут стать равными 24 ч. Так, если летяг (*Peromyscus volans*) содержать в абсолютной темноте непрерывно, то все они просыпаются и ведут активный образ жизни вначале одновременно, но вскоре — в разное время, и при этом каждая особь сохраняет свой ритм. При восстановлении правильного чередования дня и ночи периоды сна и бодрствования летяг снова становятся синхронными. Отсюда вывод, что

внешний раздражитель (смена дня и ночи) регулируют врожденные циркадные ритмы, приближая их к 24-часовому периоду.

Стереотип поведения, обусловленный циркадным ритмом, облегчает существование организмов при суточных изменениях среды. Вместе с тем при расселении растений и животных, попадании их в географические условия с другой ритмикой дня и ночи прочный стереотип может быть неблагоприятным. Расселитель-ные возможности тех или иных видов живых организмов нередко ограничены глубоким закреплением их циркадных ритмов.

Кроме Земли и Солнца, есть еще одно небесное тело, движение которого заметно сказывается на живых организмах нашей планеты, — это Луна. У самых различных народов существуют приметы, говорящие о влиянии Луны на урожайность сельскохозяйственных культур, естественных лугов и пастбищ, поведение человека и животных. *Периодичность, равная лунному месяцу*, в качестве эндогенного ритма выявлена как у наземных, так и водных организмов. В приуроченности к определенным фазам Луны периодичность проявляется в роении ряда комаров-хирономид и поденок, размножении японских морских лилий и многощетинковых червей палоло (*Eunice viridis*). Так, в необычном процессе размножения морских многощетинковых червей палоло, которые обитают в коралловых рифах Тихого океана, роль часов играют фазы Луны. Половые клетки червей созревают раз в год примерно в одно и то же время — в определенный час определенного дня, когда Луна находится в последней четверти. Задняя часть тела червя, набитая половыми клетками, отрывается и всплывает на поверхность. Яйца и сперма выходят наружу, и происходит оплодотворение. Верхняя половина тела, оставшаяся в норе кораллового рифа, к следующему году снова наращивает нижнюю половину с половыми клетками. Периодическое изменение интенсивности лунного света в течение месяца влияет на размножение и других животных. Начало двухмесячной беременности гигантских лесных крыс Малайзии обычно приходится на полнолуние. Не исключено, что яркий лунный свет стимулирует зачатие у этих ночных животных.

Периодичность, равная лунному месяцу, выявлена у ряда животных в реакции на свет и слабые магнитные поля, в скорости ориентации. Высказывается мнение, что на полнолуние приходятся периоды максимальной эмоциональной приподнятости у людей; 28-дневный менструальный цикл женщин, возможно, унаследован от предков млекопитающих, у которых синхронно со сменой фаз Луны менялась и температура тела.

Приливо-отливные ритмы. Влияние Луны прежде всего сказывается на жизни водных организмов морей и океанов нашей планеты, связано с приливами, которые обязаны своим существованием совместному притяжению Луны и Солнца. Движение Луны вокруг Земли приводит к тому, что существует не только суточная ритмика приливов, но и месячная. Максимальной высоты приливы достигают примерно раз в 14 дней, когда Солнце и Луна находятся на одной прямой с Землей и оказывают максимальное воздействие на воды океанов. Сильнее всего ритмика приливов сказывается на организмах, обитающих в прибрежных водах. Чередование приливов и отливов

для живых организмов здесь важнее, чем смена дня и ночи, обусловленная вращением Земли и наклонным положением земной оси. Этой сложной ритмике приливов и отливов подчинена жизнь организмов, обитающих в первую очередь в прибрежной зоне. Так, физиология рыбки-грунина, обитающей у побережья Калифорнии, такова, что в самые высокие ночные приливы они выбрасываются на берег. Самки, зарыв хвост в песок, откладывают икру, затем самцы оплодотворяют ее, после чего рыбы возвращаются в море. С отступлением воды оплодотворенная икра проходит все стадии развития. Выход мальков происходит через полмесяца и приурочен к следующему высокому приливу.

Сезонная периодичность относится к числу наиболее общих явлений в живой природе. Непрерывающаяся смена времени года, обусловленная вращением Земли вокруг Солнца, всегда восхищает и поражает человека. Весной все живое пробуждается от глубокого сна, по мере того как тают снега и ярче светит солнце. Лопаются почки и распускается молодая листва, молодые зверята выползают из нор, в воздухе снуют насекомые и вернувшиеся с юга птицы. Смена времен года наиболее заметно протекает в зонах умеренного климата и северных широтах, где контрастность метеорологических условий разных сезонов года весьма значительна. Периодичность в жизни животных и растений является результатом приспособления их к годичному изменению метеорологических условий. Она проявляется в выработке определенного ежегодного ритма в их жизнедеятельности, согласованного с метеорологическим ритмом. Потребность в пониженных температурах в осенний период и в тепле в период вегетации означает, что для растений умеренных широт имеет значение не только общий уровень тепла, но и определенное распределение его во времени. Так, если растениям дать одинаковое количество тепла, но по-разному распределенного: одному теплое лето и холодную зиму, а другому соответствующую постоянную среднюю температуру, то нормальное развитие будет только в первом случае, хотя общая сумма тепла в обоих вариантах одинакова (рис. 7.6).

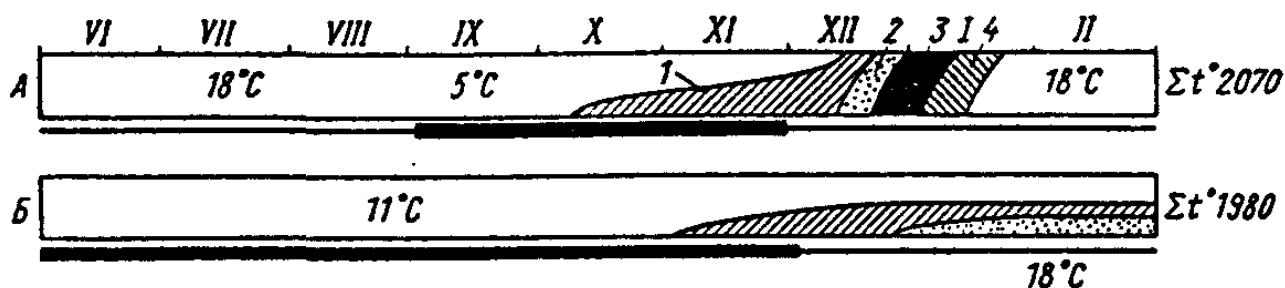


Рис. 7.6. Сезонный термопериодизм на примере пролески *Scilla sibirica*:

А — нормальная сезонная смена температур: теплое лето и холодная осень; Б — постоянная средняя температура. Фенофазы: 1 — прорастание, бутонизация; 3 — цветение и плодоношение; 4 — отмирание. Жирные линии — периоды холода или средней температуры. Выгонка при 18°C (по Т. К. Горышиной, 1979)

Потребность растений умеренных широт в чередовании в течение года холодных и теплых периодов получила название *сезонного термопериодизма*.

Нередко решающим фактором сезонной периодичности является увеличение продолжительности дня. Продолжительность дня меняется на протяжении всего года: дольше всего солнце светит в день летнего солнцестояния в июне, меньше всего — в день зимнего солнцестояния в декабре.

У многих живых организмов имеются специальные физиологические механизмы, реагирующие на продолжительность дня и в соответствии с этим изменяющие их образ действий. Например, пока продолжительность дня составляет 8 ч, куколка бабочки-сатурнии спокойно спит, так как на дворе еще зима, но как только день становится длиннее, особые нервные клетки в мозге куколки начинают выделять специальный гормон, вызывающий ее пробуждение.

Сезонные изменения мехового покрова некоторых млекопитающих также определяются относительной продолжительностью дня и ночи, мало или не зависят от температуры. Так, постепенно искусственно сокращая светлое время суток в вольере, ученые как бы имитировали осень и добивались того, что содержащиеся в неволе ласки и горностаи раньше времени меняли свой коричневый летний наряд на белый зимний.

Общепринято считать, что существует четыре времени года (весна, лето, осень, зима). Экологи же, изучающие сообщества умеренного пояса, обычно выделяют шесть времен года, различающиеся по набору видов в сообществах: зима, ранняя весна, поздняя весна, раннее лето, позднее лето и осень. Общепринятого деления года на четыре сезона не придерживаются птицы: состав сообщества птиц, куда входят как постоянные обитатели данной местности, так и птицы, проводящие здесь зиму или лето, все время меняется, при этом максимальной численности птицы достигают весной и осенью во время пролетов. В Арктике, по сути дела, существует два времени года: девятимесячная зима и три летних месяца, когда солнце не заходит за горизонт, почва оттаивает и в тундре просыпается жизнь. По мере продвижения от полюса к экватору смена времени года все меньше определяется температурой, а все больше и больше влажностью. В пустынях умеренного пояса лето — это период, когда жизнь замирает, и расцветает ранней весной и поздней осенью.

Смена времени года связана не только с периодами обилия или недостатка пищи, но и с ритмом размножения. У домашних животных (коров, лошадей, овец) и животных в естественной природной среде умеренного пояса потомство обычно появляется весной и подрастает в наиболее благоприятный период, когда больше всего растительной пищи. Поэтому может возникнуть мысль, что весной размножаются вообще все животные.

Однако размножение многих мелких млекопитающих (мышей, полевок, леммингов) часто не имеет строго сезонной приуроченности. В зависимости от количества и обилия кормов размножение может идти как весной, так и летом, и зимой.

В природе наблюдается кроме суточных и сезонных ритмов *многолетняя*

периодичность биологических явлений. Она определяется изменениями погоды, закономерной ее сменой под влиянием солнечной активности и выражается чередованием урожайных и неурожайных лет, лет обилия или малочисленности популяций (рис. 7.7).

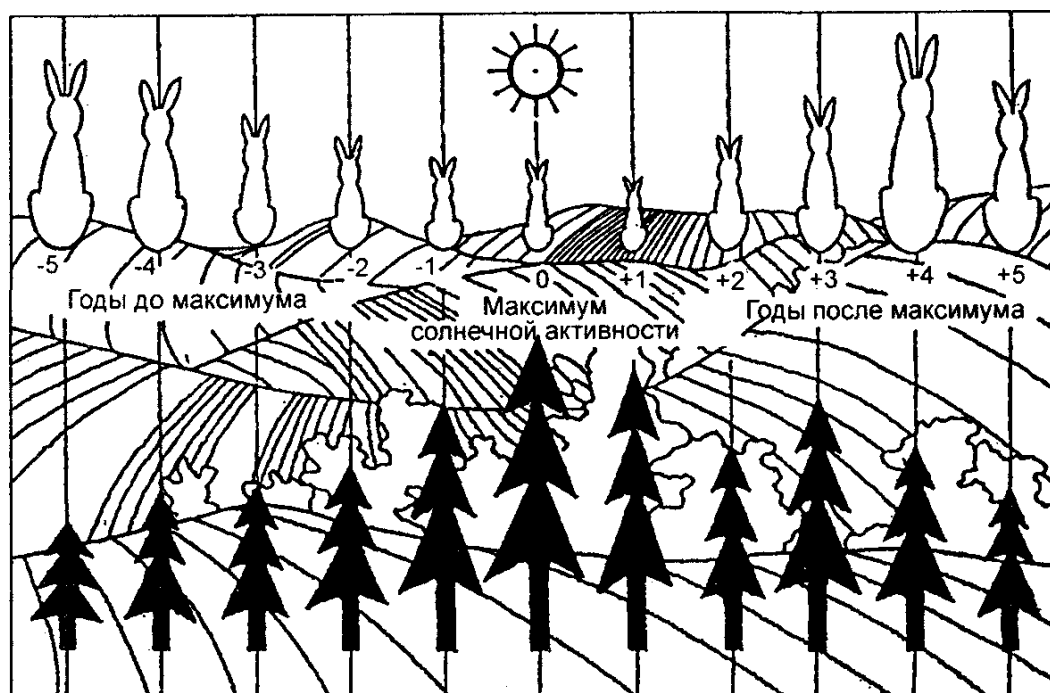


Рис. 7.7. Принципиальная схема прироста леса и размножения животных (зайца-беляка) в разные годы солнечного цикла (по Стетсену)

Д. И. Маликов за 50 лет наблюдений отметил пять крупных волн изменений поголовья скота или столько, сколько было солнечных циклов (рис. 7.8). Такая же связь проявляется в цикличности изменений удоев молока, годовом приросте мяса, шерсти у овец, а также в других показателях сельскохозяйственного производства.

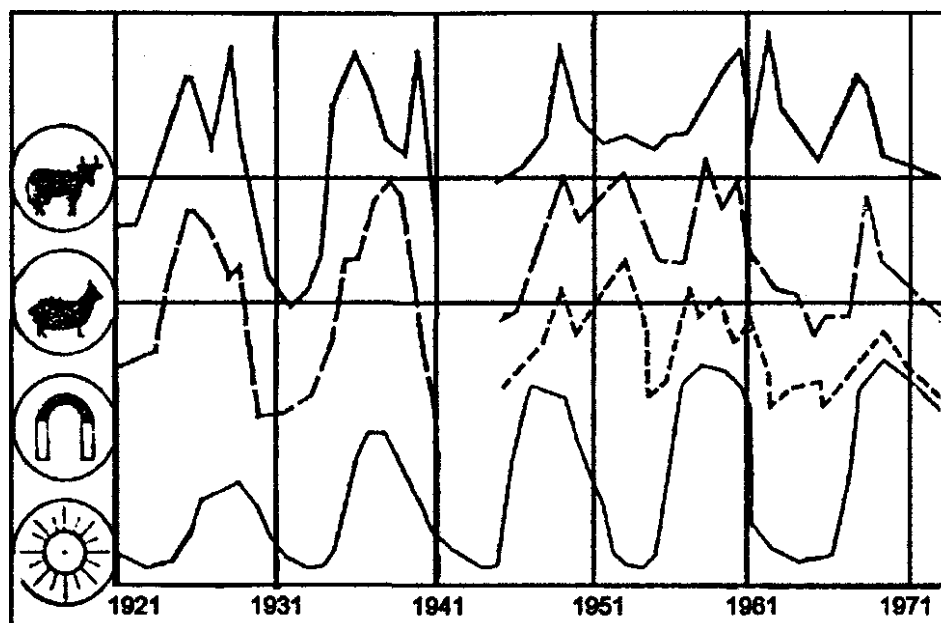


Рис. 7.8. Изменения поголовья мелкого рогатого скота и коров в связи с колебаниями магнитной и солнечной активности (по Д. И. Маликову)

Периодичность изменений свойств вируса гриппа связывают с солнечной активностью.

Согласно прогнозу, после относительно спокойного по гриппу периода начала 80-х гг. XX в. с 2000 г. ожидается резкое усиление интенсивности его распространения.

Различают 5-6- и 11-летние, а также 80—90-летние или вековые циклы солнечной активности. Это позволяет в какой-то мере объяснить совпадения периодов массового размножения животных и роста растений с периодами солнечной активности.

7.3. Биологические часы

Циркадные и суточные ритмы лежат в основе способности организма чувствовать время. Механизм, ответственный за такую периодическую активность — будь то питание или размножение, — получил название «биологических часов». Поразительная точность работы биологических часов, управляющих жизнедеятельностью многих растений и животных, является объектом исследований ученых разных стран мира (рис. 7.9).

Как видно из приведенных кривых, листья бобовых на ночь сникают, а днем снова расправляются. График активности крыс состоит из последовательно чередующихся прямоугольных ям (день — крыса спит) и плато (ночь — крыса бодрствует). Комнатные мухи большей частью вылупляются из куколок утром. Эта адаптация имеет столь глубокие корни, что даже в условиях постоянных освещенности, температуры и влажности мухи сохраняют свойственную им периодичность поведения.

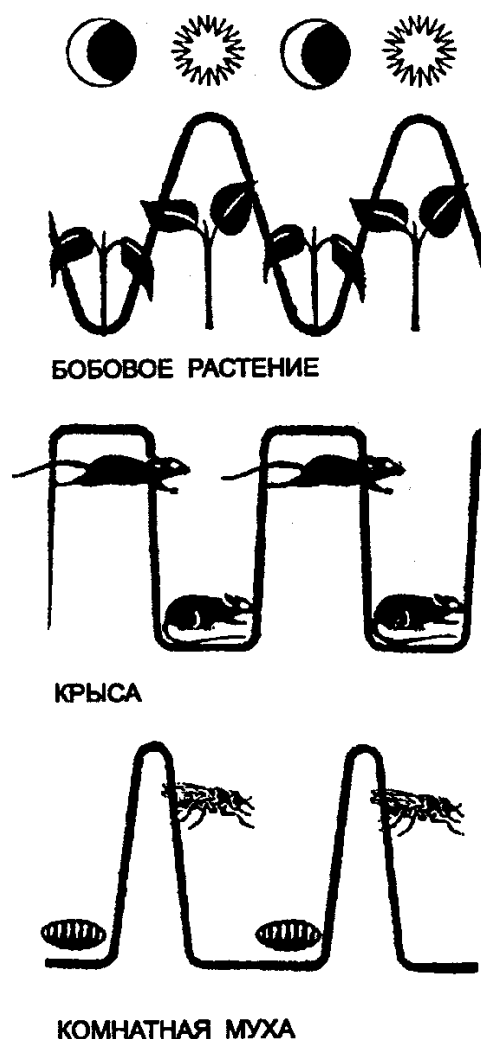


Рис. 7.9. Биологические часы (из П. Фарба, 1971)

Множество животных — различные виды птиц, черепах, пчел и др. — ориентируются в своих путешествиях по небесным светилам. Думается, что для этого нужно обладать не только хорошей памятью, позволяющей запоминать положение Солнца или других светил, но и чем-то вроде хронометра, показывающего, сколько времени потребовалось Солнцу и звездам, чтобы занять новое место на небосводе. Организмы, обладающие такими внутренними биологическими часами, получают еще одно преимущество — они способны «предвидеть» наступление регулярно повторяющихся событий и соответствующим образом подготовиться к предстоящим переменам. Так, пчелам их внутренние часы помогают прилететь на цветок, на котором побывали вчера, точно к тому времени, когда он распускается. Цветок, который посещает пчела, также обладает некими внутренними часами, некими внутренними часами, сигнализирующими о времени распускания. О существовании собственных биологических часов известно каждому. Проснувшись несколько дней подряд от звонка будильника, быстро привыкаешь просыпаться *прежде*, чем он зазвонит. Сегодня имеются различные точки зрения на природу биологических часов, их принцип действия, но одно несомненно — они реально существуют и широко распространены в живой природе. Определенные внутренние ритмы присущи и

человеку. Химические реакции в его организме происходят, как это было показано выше, с определенной периодичностью. Даже во время сна электрическая активность мозга человека меняется каждые 90 мин.

Биологические часы, по мнению целого ряда ученых, представляют собой еще один экологический фактор, ограничивающий активность живых существ. Свободному расселению животных и растений препятствуют не только экологические барьеры, они привязаны к своему местообитанию не только конкуренцией и симбиотическими отношениями, границы их ареалов определяются не только адаптациями, но их поведение управляется еще и опосредованно, через внутренние биологические часы, движением далеких небесных тел.

7.4. Фотопериодизм

Фотопериод, или продолжительность дня, являющийся важнейшей характеристикой светового режима, неодинаков в течение года. Длина дня безразлична для живых организмов. Это нашло отражение при рассмотрении сезонной периодичности явлений в живой природе. *Ритмические изменения морфологических, биохимических и физических свойств и функций организмов под влиянием чередования и длительности освещения получили название фотопериодизма.*

Способность живых организмов реагировать на длину дня получила название *фотопериодической реакции* (ФПР). Фотопериодизм был открыт в 1920 г. В. Гарнером и Н. Аллардом во время селекционной работы с табаком. Они обнаружили, что один из сортов, который цвел весной и осенью в теплице, не зацветает летом в открытом грунте. В связи с тем, что летние условия практически не отличались от тепличных, было сделано предположение, что цветению препятствует длинный летний день. Предположение подтвердилось, когда удалось получить цветение табака летом при искусственно укороченном дне. В дальнейшем установлено, что фотопериодическая реакция свойственна растениям разных таксономических групп и жизненных форм. Способность воспринимать длину дня и реагировать на нее широко распространена и в животном мире.

По типу фотопериодической реакции выделяют следующие основные группы растений (рис. 7.10).

1. *Растения короткого дня.* Зацветание и плодоношение наступает при 8—12-часовом освещении (например, конопля, табак, перилла).

2. *Растения длинного дня.* Для цветения им нужна продолжительность дня 12 ч и более (картофель, пшеница, шпинат).

3. *Нейтральные к длине дня растения.* Для них длина фотопериода безразлична. Цветение наступает при любой длине дня (кроме очень короткой, означающей для растений световое голодание). Таковы горчица, одуванчик, томат и др.

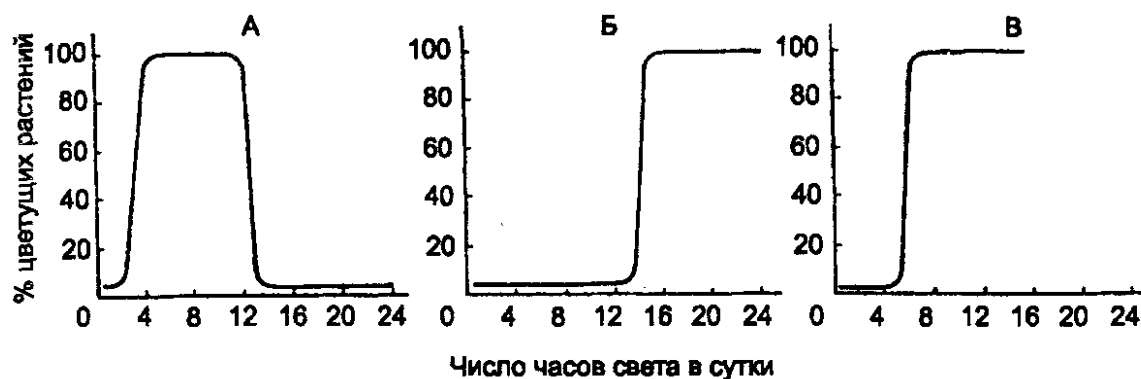


Рис. 7.10. Типы фотопериодической реакции у растений:

А — короткодневный (перилла); Б — длиннодневный (шпинат);

В — нейтральный (горчица) (по Б. С. Мошкову, 1961)

Каждому виду или сорту свойствен определенный *критический фотопериод*. Растения обладают способностью «измерять» его продолжительность с довольно большой точностью. Например, для длиннодневной хризантемы критическая длина дня, обеспечивающая цветение, составляет 14 ч 40 мин, а уже при 13 ч 50 мин бутоны не образуются. В тропиках, где сезонные изменения длины дня незначительны, высокая фотопериодическая чувствительность обнаружена у многих сортов риса, возделываемых в определенные сезонные сроки. В этих случаях решающими для перехода растений к генеративной фазе оказываются даже ничтожные изменения фотопериода.

Особо важную роль фотопериодизм играет, например, в географическом распространении растений и в регуляции их сезонного развития. В этом вопросе накоплен обширный фактический материал, показывающий, что существует связь между географическим распространением и типом их фотопериодической реакции. В высоких и умеренных широтах большинство растений принадлежит к растениям длинного дня. Все они приспособлены к продолжительному освещению. Виды тропиков и субтропиков в большинстве своем короткодневные или нейтральные. У видов с обширными ареалами, охватывающими разные широты, хорошо различаются географические популяции с разными критическими фотопериодами, которые соответствуют длине дня (рис. 7.11).

Здесь фотопериодическая реакция выступает как весьма тонкий и точный механизм прилаживания экологии вида к разнообразию условий на протяжении ареала.

ФПР культурных растений во многих случаях соответствует географическому району формирования сорта. Например, сибирские сорта пшеницы имеют длиннодневный тип ФПР, а абиссинский — короткодневный. Являясь адаптацией к данной географической среде, ФПР вместе с тем отчасти служит ограничителем распространения вида или географической популяции.

Так как растения с определенной ФПР не могут успешно произрастать при не подходящем для них фотопериоде, длина дня препятствует миграции северных длиннодневных форм к югу и южных короткодневных — к северу. Виды с нейтральной ФПР имеют возможность более широкого распространения — от тропиков до арктических районов (если оно не ограничено теплом и другими климатическими факторами).

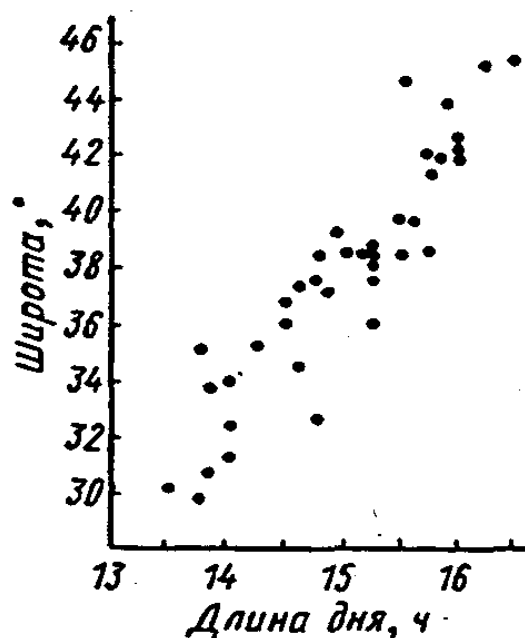


Рис. 7.11. Изменение порога фотопериодической реакции (критической длины дня) с географической широтой у дурнушника *Xanthium stcumarium* (из А. П. Тыщенко, 1979)

Животные, особенно насекомые, также весьма чувствительны к продолжительности дня. Например, саранчовые (Arididae), многие совки (Noctuidae), тутовый шелкопряд (*Bombux mori*) развиваются в условиях короткого дня, а капустная белянка (*Pieris brassicae*), березовая пяденица (*Riston betularia*) — типичные организмы длинного дня. Продолжительность дня регулирует процессы жизнедеятельности, связанные прежде всего с размножением и эмбриональным развитием, приспособительными реакциями — диапаузой, линькой, спячкой (сном), миграциями.

У животных и растений суточная периодичность светового режима обуславливает многочисленные приспособления к дневному и ночному образу жизни. Все их физиологические процессы имеют суточный режим с максимумом в определенные часы. Эти реакции основаны на правильном чередовании периодов света и темноты в течение суток — на продолжительности дня и ночи.

Организмы имеют приспособления к неблагоприятным сезонным явлениям. Так, для растений свойственно состояние покоя, характеризующееся прекращением роста и замедлением физиолого-биохимических процессов. Отмечают органический, глубокий и вынужденный покой растений.

Органический покой характерен для клубней, плодов, почек. Например, картофель осенью не прорастает даже при высоких температурах. Осенью и ранней зимой не распускаются почки срезанных с дерева и поставленных в воду ветвей. Во время органического покоя в растении происходят изменения в нуклеиновом и белковом обмене в эмбриональных клетках и тканях, что обеспечивает возобновление нормального роста весной.

Глубокий покой наступает одновременно с органическим или после него и обуславливает морозоустойчивость растений. Степень глубины покоя зависит от вида растений и характера осенней погоды (рис. 7.12).

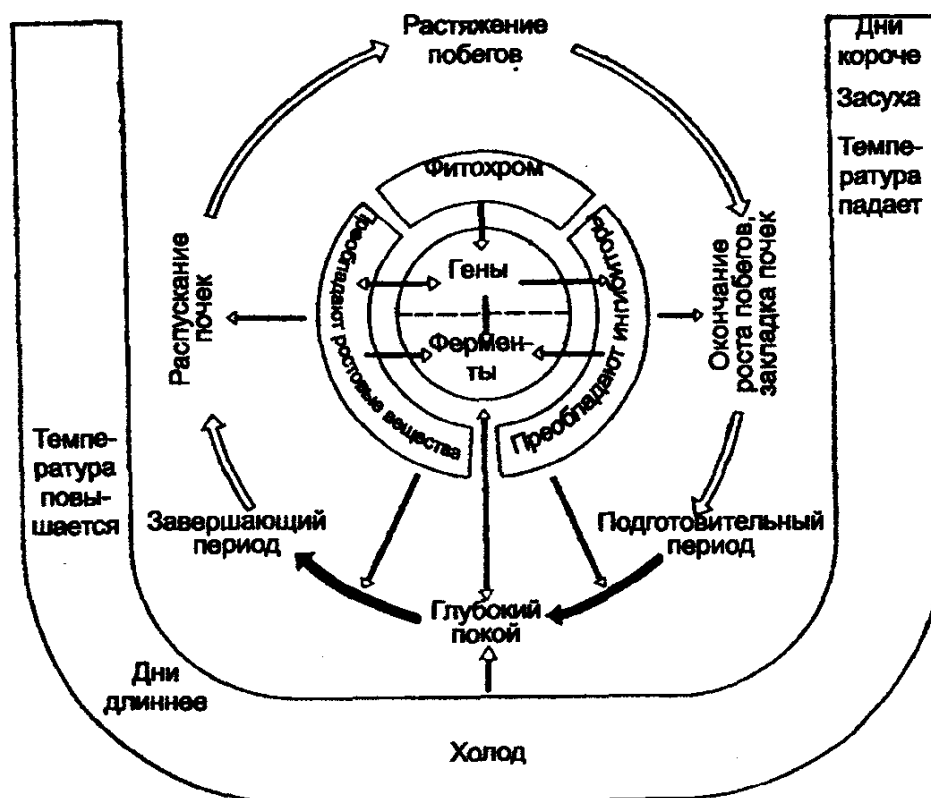


Рис. 7.12. Упрощенная схема влияния внешней среды (подковообразная фигура), управляющих механизмов клетки и гормональных факторов на ритм развития древесных растений (по В. Лархеру, 1978)

Вынужденный покой проявляется в том, что растения длительное время не приступают к росту из-за неблагоприятных условий. Это часто бывает весной.

У животных приспособления к переживанию неблагоприятных сезонных явлений более разнообразны по сравнению с растениями. Так, сезонные изменения метаболизма у животных проявляются в *периодичности размножения*. Основным сигнальным факторам и стимулятором размножения является световой режим местообитания.

Своеобразным приспособлением к неблагоприятным сезонным явлениям у животных служит спячка. Она может наступить на любой стадии их развития. Наиболее широко распространена спячка среди животных высоких и

умеренных широт. В период *зимней* или *летней* спячки у животных значительно снижается уровень обмена веществ и потребление кислорода (в 10—20 раз). Млекопитающие и особенно земноводные, пресмыкающиеся и большинство беспозвоночных впадают в глубокое оцепенение. Длина светового дня, регулярно изменяющаяся на протяжении года, предвещает здесь приближение благоприятных или неблагоприятных сезонов точнее, чем все другие, менее регулярные колебания климатических факторов.

Для членистоногих, особенно насекомых, характерна *диапауза*, или длительная приостановка развития. Длина светового дня используется как сигнал, вызывающий как бы «предусмотрительную» перестройку обмена веществ (сдвиг диапазонов потенции, накопление запасных веществ, понижение содержания влаги) еще в благоприятных условиях. «Приторможенный» обмен веществ должен в течение определенного времени протекать при ожидавшихся субоптимальных температурах (обычно между 0 и 12 °C), прежде чем процессы развития смогут возобновиться в нормальном диапазоне температур.

Например, гусеницы пестрокрыльницы изменчивой (*Araschinia levana*) живут при длинном световом дне (> 16 ч весной), то их куколки без диапаузы дают темную летнюю форму бабочек (f. *prorsa*).

При коротком световом дне (< 16 ч поздней осенью) они дают диапаузирующих куколок, которым требуется не менее трех месяцев холода (0—12°C), чтобы из них с наступлением тепла могли выйти более светлые бабочки (f. *levana*). Следует заметить, далеко не во всех случаях диапауза приводит, как в данном примере, к сезонному или иному диморфизму вследствие измененного хода развития.

Широко распространенным приспособлением к неблагоприятным условиям у многих животных являются *миграции*, или закономерные перемещения в определенном направлении, выработанные в процессе исторического развития. Недостаток пищи или ухудшение погоды побуждают некоторых насекомых (саранчу), птиц (кедровку, клеста, свиристеля), млекопитающих (леммингов) к первоначально ненаправленным откочевкам. Регулярные миграции многих перелетных птиц определяются ежегодно изменениями погоды (так называемые погодные птицы — грачи, дрозды, зяблики, лысухи и т.д.). Другие («инстинктивные») птицы отлетают в более или менее определенные (фиксированные) сроки, руководствуясь, как правило, фотопериодом, задолго до ухудшения погоды и сокращения пищевых ресурсов: аист, иволга, черные стрижи и др.

В заключение следует отметить, что закономерности сезонного развития природы изучаются особой прикладной отраслью экологии — *фенологией* (с греч. — наукой о явлениях). По биоклиматическому закону Хопкинса на территории Европы сроки наступления различных сезонных явлений (фенодат) различаются в среднем на три дня на каждый градус широты, на каждые 5 град. долготы и на 120 м высоты над уровнем моря, т.е. чем севернее, восточнее и выше местность, тем позднее наступает весна и раньше осень. Фенологические даты также зависят от местных условий — рельефа, экспозиции, удаленности

от моря и т. д. Точки с одинаковыми фенодатами при соединении на карте образуют изолинии, которые отражают фронт продвижения весны и наступления очередных сезонных явлений.

8. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗМОВ

8.1. Понятие «жизненная форма» организма

Организмы и среда, в которой они обитают, находятся в постоянном взаимодействии. В результате возникает поразительное соответствие систем: организма и окружающей среды. Это соответствие носит приспособительный характер и выражается в виде особых черт в анатомической структуре, физиологии, способах нарастания, питания, выборе мест обитания, связях с другими организмами, особенностях поведения. Проявляется оно и во внешнем облике организмов. Среда всегда действует на организм целым комплексом экологических факторов, поэтому и черты приспособительности возникают в ответ на весь комплекс факторов.

Потребность типизировать организмы по сходству их приспособлений к среде привела к возникновению понятия об основных группах организмов, имеющих сходный облик в результате сходства путей приспособления. На первых порах такие группы выделяли по чисто внешним признакам. Например, в трудах древнегреческого естествоиспытателя и философа Теофраста все растения подразделены на деревья, кустарники, полукустарники и травы. В дальнейшем известный ботаник А. Гумбольдт (1806) на основе результатов исследований растительного мира разных континентов предложил выделить 19 «основных форм» растений. Среди них такие: 1. Форма пальм. 2. Форма бананов. 3. Форма хвойных деревьев. 4. Форма кактусовидных растений. 5. Форма лиан. 6. Форма лавровых деревьев. 7. Форма злаковидная. 8. Форма мхов. 9. Форма орхидей. «Основные формы» растений А. Гумбольдта отражали первую попытку выделить основные типы растений со сходным приспособлением ко всему комплексу факторов среды. В последующие годы число этих «форм» А. Кернером (1863) было уменьшено до 11, а Х. Гризебахом (1872) увеличено до 54. Однако принцип их выделения оставался неопределенным. Использовались и особенности роста, и морфология листовой пластинки, и принадлежность к определенной таксономической группе. Разделение на группы в большей мере выражало идею о разнообразии растительного мира вообще, чем о путях приспособления к среде. Отсюда, поскольку необходим критерий этого сходства, нужно выбрать и определенные признаки, в наибольшей степени отражающие приспособление организмов к среде. Еще Ч. Дарвин (1859), выдвигая теорию естественного отбора как главного фактора эволюции, обратил внимание на то, что результатом естественного отбора может быть не только нарастание различий между близкими видами, но и выработка у неродственных форм внешнего сходства,

если эти виды ведут сходный образ жизни в близких условиях среды. Данный процесс получил название *конвергенции*, а признаки называются *конвергентными* (рис. 8.1).

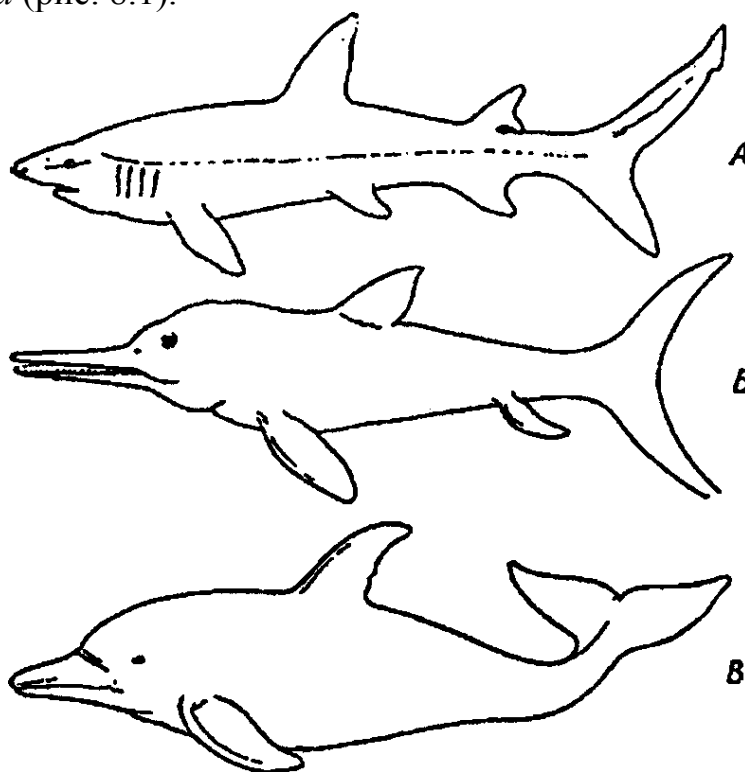


Рис. 8.1. Конвергентная эволюция — сходство внешнего строения органов в связи с обитанием в водной среде (по К. Вилли, 1966): А — акула; Б — ихтиозавр (ископаемое пресмыкающееся); В — дельфин

Конвергенция признаков у разных форм в наибольшей мере затрагивает органы, находящиеся в непосредственном соприкосновении с внешней средой. При этом внутренние черты строения организмов, их общий план строения остаются неизменными, отражая родство и происхождение видов.

Формообразующая роль факторов среды или влияние их на морфологию организмов четко прослеживается при изучении роли влажности, температуры, движения воздуха и воды, плотности среды, объема пригодного для жизни пространства и т. д. Пути приспособления организмов к условиям среды тем ограниченнее, чем жестче ее физические условия. Одинаковые принципы освоения среды ведут к выработке сходных морфологических адаптации у разных видов, даже значительно различающихся по плану своего строения. Так, среди самых разнообразных в систематическом отношении планктонных организмов (одноклеточные водоросли, кишечнополостные, ракообразные, моллюски, черви, личинки разных групп беспозвоночных и др.) отмечено лишь три способа приспособления к парению: 1) уменьшение объема тела; 2) развитие разнообразных выростов; 3) увеличение содержания в теле воды, жиров и газообразных продуктов. Достигается во всех случаях один эффект: уменьшение отношения массы тела к его площади, обеспечивающее уравнивание сил тяжести и трения о воду. Следовательно, общее число

возможных морфологических приспособлений к одной и той же среде ограничено.

Морфологический тип приспособления растения или животного к основным факторам местообитания и определенному образу жизни называют *жизненной формой организма*.

8.2. Жизненные формы растений

Понятие о «жизненной форме» как совокупности приспособительных признаков впервые ввел в 1884 г. один из основоположников экологии растений, датский ботаник Е. Варминг. По его определению, это форма, в которой вегетативное тело растения (индивида) находится в гармонии с внешней средой в течение всей его жизни. Определение этого понятия, более краткого и общего, находим у целого ряда современных ученых-исследователей. По А. П. Шенникову (1964), «виды растений, сходные по форме и приспособлению к среде, объединяют в одну жизненную форму». В. В. Алехин (1944) считает, что «жизненная форма — это результат длительного приспособления растений к местным условиям существования, выраженный в его внешнем облике».

Широкое применение в экологических и фитоценологических исследованиях находит классификация жизненных форм, разработанная датским ботаником К. Раункиером (1934). В основу ее положена идея, что сходные типы приспособлений растений к среде — это прежде всего сходные способы перенесения наиболее трудных условий. Действительно, благоприятные условия в целом благоприятны для всех растений (за исключением случаев резкого сдвига экологических оптимумов в особых условиях) и не требуют особых приспособлений. Адаптивные же изменения связаны главным образом с преодолением условий, лежащих за пределами оптимальных. В областях с сезонной периодичностью климата такие трудные для растений условия наступают в основном в осенне-зимний сезон, а в аридных областях — еще и в период летних засух. Отсюда основное сходство приспособлений растений к среде должно заключаться в сходстве способов перенесения неблагоприятного периода года. К. Раункиер для классификации жизненных форм растений выбрал только один признак, но имеющий большое приспособительное значение: положение почек или верхушек побегов в течение неблагоприятного времени года по отношению к поверхности почвы и снегового покрова. Этот признак на первый взгляд является частным, имеет глубокий биологический смысл (защита меристем, предназначенных для продолжения роста, обеспечивает непрерывное существование особи в условиях резко переменной среды) и широкое экологическое содержание, вследствие того, что речь идет о приспособлении не к одному какому-либо фактору, а ко всему комплексу факторов среды. Выбранный К. Раункиером признак, таким образом, оказался коррелятивно связанным с целым рядом других, в том числе и с чисто физиономических, а классификация стала универсальной.

Все растения К. Раункиер подразделил на пять типов жизненных форм (рис.8.2).

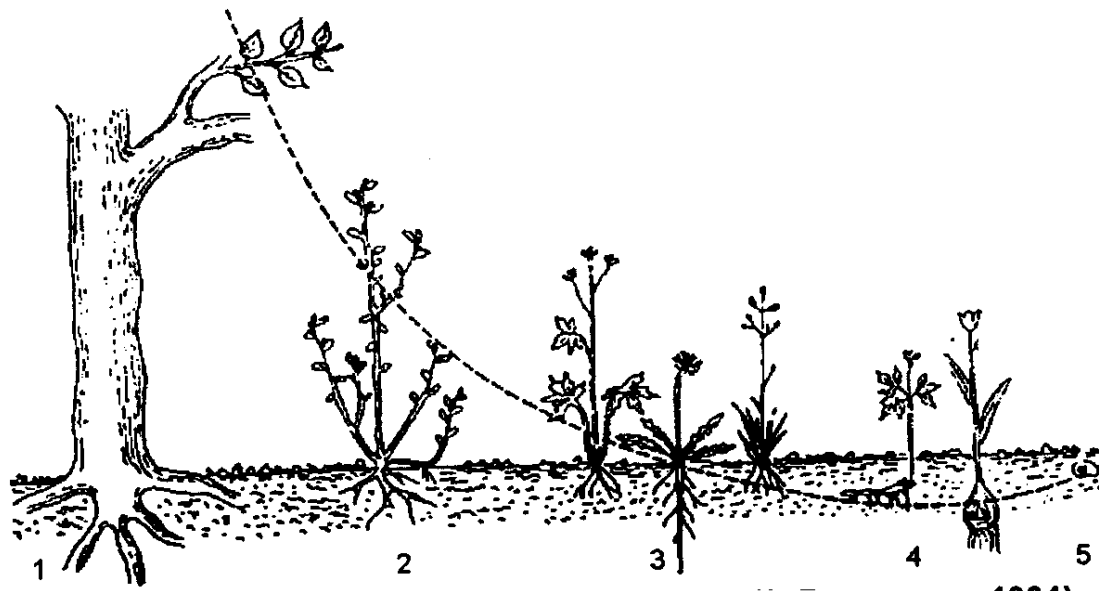


Рис. 8.2. Жизненные формы растений (по К. Раункиеру, 1934):

1 — фанерофиты (тополь); 2 — хамефиты (черника); 3 — гемикриптофиты (лютик, одуванчик, злаки); 4 — геофиты (ветреница, тюльпан); 5 — терофиты (семя фасоли)

Зимующие почки выделены черным цветом

I. *Фанерофиты* (Ph) — почки возобновления, открытые или закрытые, расположены высоко над поверхностью почвы (выше 30 см). По консистенции стебля, по высоте растения, по ритму развития листвы, по защищенности почек подразделяются на 15 подтипов.

II. *Хамефиты* (Ch) — почки возобновления у поверхности почвы или не выше 20—30 см. Подразделяются на четыре подтипа.

III. *Гемикриптофиты* (НК) — почки возобновления у поверхности почвы или в самом поверхностном слое ее, часто покрытом подстилкой. Включает три подтипа и более мелкие подразделения.

IV. *Криптофиты* (К) — почки возобновления скрыты в почве (геофиты) или под водой (гелофиты и гидрофиты). Подразделяются на семь подтипов.

V. *Терофиты* (Th) — возобновление после неблагоприятного времени года только семенами.

Подразделение на подтипы основано на использовании морфологических признаков, таких, как характер и расположение побегов, защищенность почек и т. д.

К. Раункиер считал, что жизненные формы складываются исторически как результат приспособления растений к климатическим условиям среды. Он назвал процентное распределение видов по жизненным формам в растительных

сообществах на изучаемой территории биологическим спектром. Были составлены биологические спектры для разных зон и стран, которые могли служить индикаторами климата (рис. 8.3).

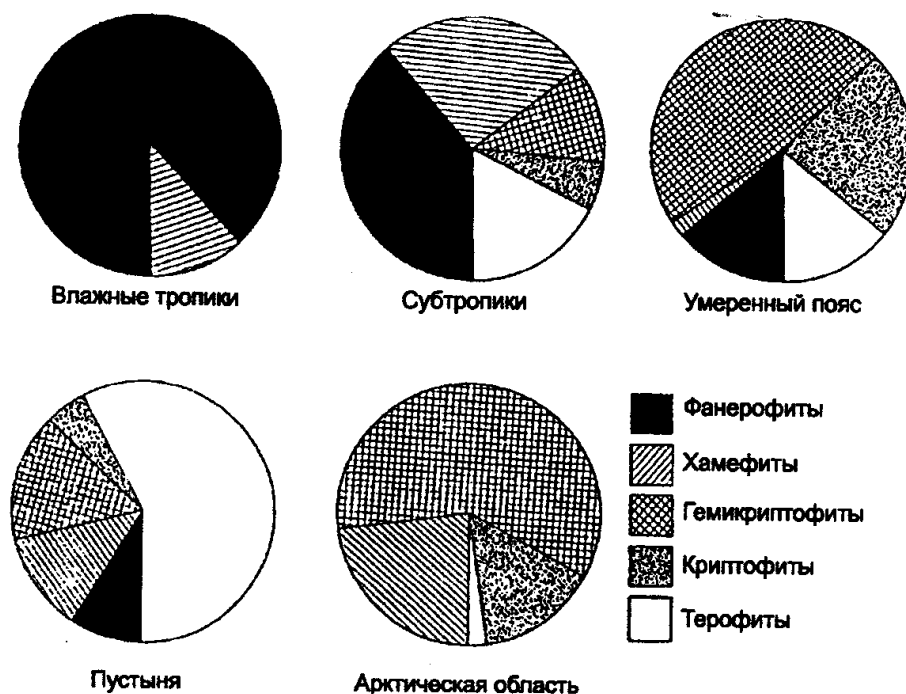


Рис. 8.3. Соотношение разных жизненных форм растений по системе Раункиера в местностях, расположенных в разных областях земного шара

Континентальный климат умеренного пояса был назван климатом гемикриптофитов, а жаркий и влажный климат тропиков — климатом фанерофитов.

Вместе с тем типы жизненных форм растений, по К. Раункиеру, слишком обширны и неоднородны. Так, хаефиты включают растения с разным отношением к климату. Их много, как в тундрах, так и пустынях.

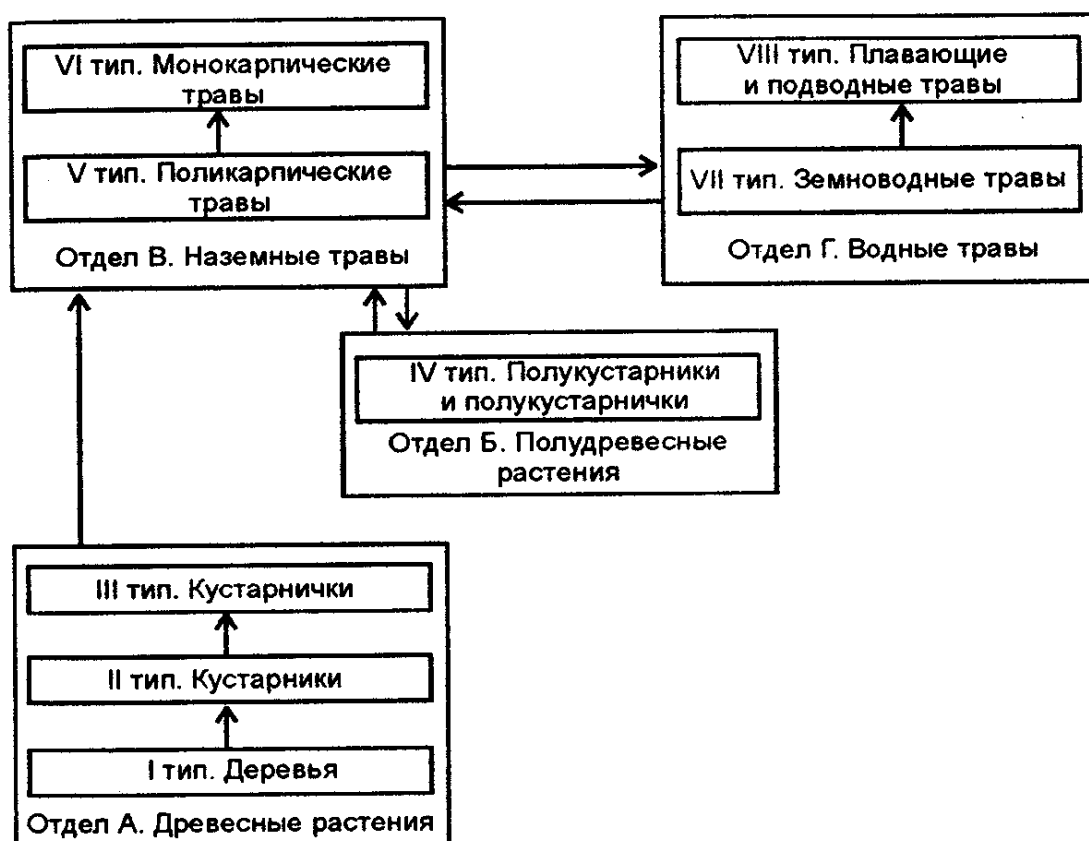
Для растительности умеренных областей в связи с конкретными задачами исследований растительного покрова были предложены различные системы жизненных форм применительно к отдельным группам растений и типам растительности. Г. Н. Высоцким в 1915 г. была разработана система жизненных форм для степных сообществ юга России. Впоследствии она была дополнена и развита Л. И. Казакевичем (1922) и до настоящего времени находит применение при анализе растительных сообществ, составленных травянистыми многолетниками. За основу выделения жизненных форм авторами были взяты способы вегетативного размножения и расселения растений, поэтому большое внимание уделено строению ну. подземных органов.

На эколого-морфологическом принципе построена классификация жизненных форм И. Г. Серебрякова (1962, 1964), разработанная в основном для кустарниковых и древесных форм. Он определяет жизненную форму как

своеобразный общий облик или габитус группы растений, включая их надземные и подземные органы (подземные побеги и корневые системы). Габитус возникает в онтогенезе в результате роста и развития растения в определенных условиях среды и выражает приспособленность к наиболее полному использованию всего комплекса условий местообитания, пространственному расселению и закреплению территории. И. Г. Серебряков особо подчеркивал, что жизненная форма — это своеобразная внешняя форма организмов, обусловленная биологией развития и внутренней структурой их органов, возникает в определенных почвенно-климатических условиях как приспособление к жизни в этих условиях, т. е. они представляют собой формы приспособившихся под длительным влиянием экологических факторов. Ввиду многообразия комплексов условий на Земле существует и большое количество жизненных форм организмов. У растений выделяются такие формы, как древесные, полудревесные, наземные травянистые и водные травянистые. Каждая из них, в свою очередь, представлена многими более мелкими группами жизненных форм (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Соотношение отделов и типов жизненных форм покрытосеменных растений (по И. Г. Серебрякову, 1962)



К жизненной форме *деревьев* относятся многолетние растения с одним одревесневшим стволом (береза, осина, сосна, ель и др.), сохраняющимся на протяжении всей жизни растения. Они могут быть листопадными и

вечнозелеными. Среди них выделяются формы *наземных кронаобразующих*, где имеются деревья: с *прямостоячими стволами*, *кустовидные* (немногоствольные) и *одноствольные с низкими стволами* (рис. 8.4).

У всех у них при спиливании ствола могут вырасти из спящих почек новые один или несколько заменяющих (вторичных) стволов. Эта жизненная форма растений распространена очень широко и является показателем оптимальных условий местообитания.

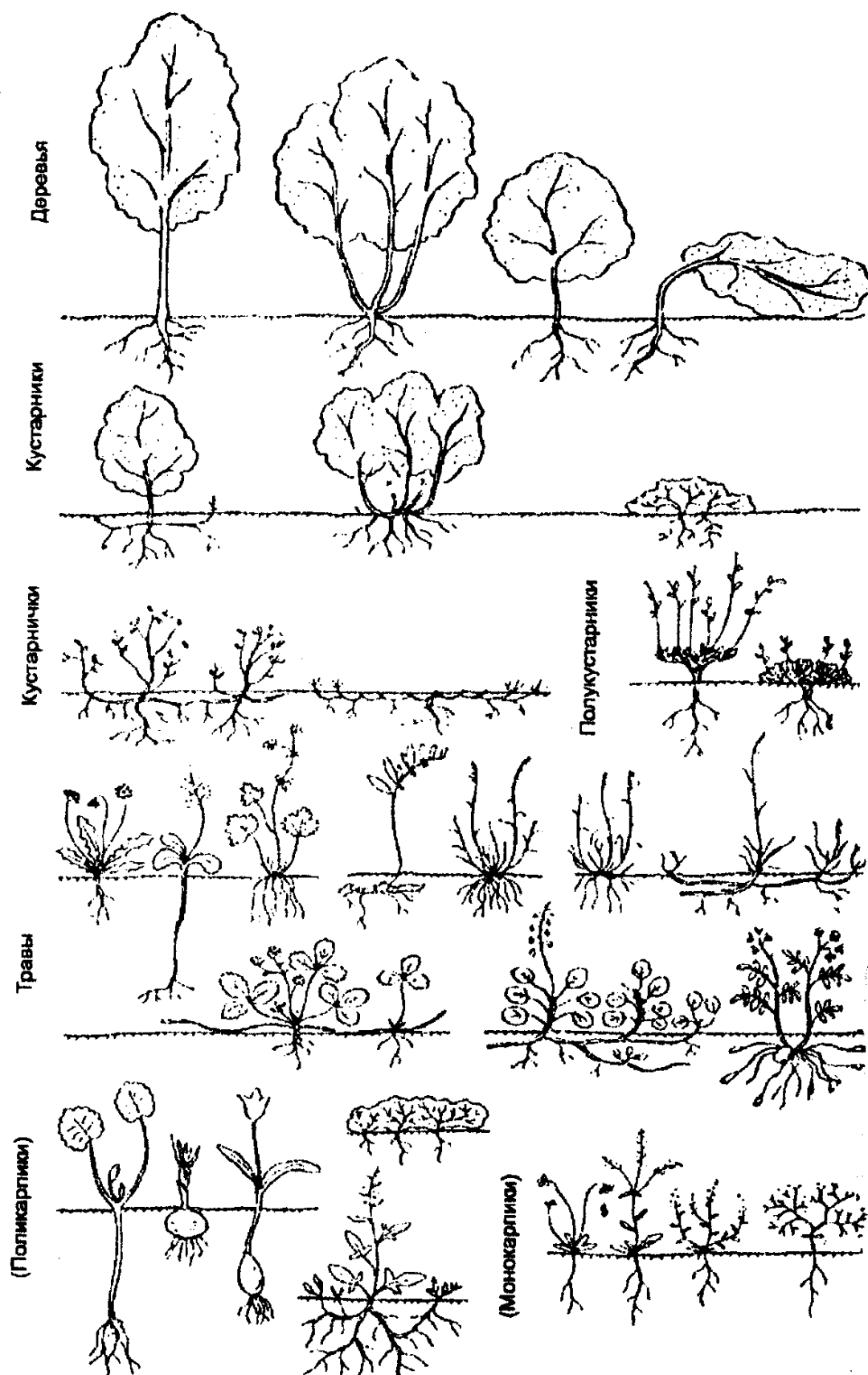


Рис. 8.4. Жизненные формы покрытосеменных растений
(по И. Г. Серебрякову, 1964)

Среди наземных кронообразующих деревьев имеются жизненные формы

с лежащими стволами — *стланцы*. Они формируются в районах, мало благоприятных для жизни древесных растений, — там, где длинная зима, прохладное лето, где часто дуют холодные ветры.

К числу древесных растений относится большая группа жизненных форм — *кустарники*. Характерным признаком является наличие многих или нескольких равных по размеру стволов. Главный ствол, имеющийся в начале жизни, в дальнейшем практически не выделяется по длине среди боковых. Высота стволов кустарников обычно составляет от 0,5—0,8 до 5—6 м.

Кустарнички — третий тип жизненных форм древесных растений. К ним относятся брусника, черника, багульник и др. Для всех их характерен низкий рост стеблей (от 5—7 до 50—60 см). Главный стебель существует не более трех — семи лет. На смену ему развиваются укореняющиеся боковые подземные одревесневающие стебли, как правило, из спящих почек.

Среди жизненных форм следует выделить полудревесные растения, к которым относятся *полукустарники* (степные полыни, прутняк, астрагал прутняковый и другие). Характерный признак для полукустарников — регулярное отмирание верхних частей надземных побегов. Оставшиеся, неопавшие части стеблей одревесневают и сохраняются в таком виде на протяжении нескольких лет. На этих одревесневших надземных частях стебля имеются почки возобновления, из которых на следующий год развиваются многочисленные новые травянистые стебли. Этим полукустарники и отличаются от настоящих травянистых растений.

Большая и разнообразная группа жизненных форм — *наземные травянистые* растения. Они разделены И. Г. Серебряковым на две части: *травянистые поликарпики*, плодоносящие много раз в своей жизни и *травянистые монокарпики*, плодоносящие лишь однажды. В свою очередь, *травянистые поликарпики* подразделяются на ряд жизненных форм: *стержнекорневые* растения (многолетние мятликовые травы и др.), *длинностержневые* растения (люцерна, кермек, шалфей и др.), *короткостержневые* растения (сон-трава, крестовник Якова и др.), *кистекорневые* (лютики, калужница болотная и др.), *коротkokорневищные* (купена, ветреница и др.), *дерновинные травянистые* поликарпики (плотнокустовые, рыхлокустовые, длиннокорневищные растения), *столоно-образующие* растения (майник двулистный, земляника, клубника и др.), *ползучие травянистые* поликарпики (вероника лекарственная, луговой чай и др.), *клубнеобразующие* поликарпики (любка двулистная, картофель, стрелолист и др.), *луковичные* поликарпики (гусятые луки, луки, тюльпаны, подснежник снежный и др.).

Травянистые монокарпики широко распространены в засушливых областях умеренной зоны северного полушария. Среди таких монокарпиков есть двулетние и многолетние растения (ряд видов из сем. зонтичных, крестоцветных: борщевик, капуста, тмин и др.). Большинство из них имеет утолщение и содержит запасные питательные вещества. Однолетние травянистые монокарпики подразделяют на *длительно вегетирующие* (василек синий, дымянка лекарственная, пикульник, пастушья сумка и др.), *эфемеры*

(вероника весенняя, крупка весенняя и др.), *листовидные* (горец вьюнковый), *полупаразитные* (очанка, погребок и др.), *паразитные* (поливика).

Среди всех типов жизненных форм нередко встречаются *по-душковидные* формы. Это большей частью многолетние травянистые, реже — древесные растения, иногда вечнозеленые. Для них характерны малый прирост главной оси и сильное ветвление боковых побегов, которые, располагаясь радиально или этажами, создают компактную форму «подушки» (акантолимон аластавский, дриадоцвет, камнеломки и др.)

8.3. Жизненные формы животных

Классификация жизненных форм животных, так же как и растений, отличается значительным разнообразием и зависит от принципов, положенных в их основу (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Основные группы жизненных форм животных (по Д. Н. Кашкарову, 1945)

I	<i>Плавающие формы</i>
1.	Чисто водные:
	а) нектон, б) планктон, в) бентос
2.	Полуводные:
а)	ныряющие, б) ныряющие, в) лишь добывающие из воды пищу
II	<i>Роющие формы</i>
1.	Абсолютные землерои (всю жизнь проводящие под землей)
2.	Относительные землерои (выходящие на поверхность)
III	<i>Наземные формы</i>
1,	Не делающие нор:
	а) бегающие, б) прыгающие, в) ползающие
2.	Делающие норы:
	а) бегающие, б) прыгающие, в) ползающие
3.	Животные скал
IV.	<i>Древесные лазающие формы</i>
	а) не сходящие с деревьев, б) лишь лазающие по деревьям
V.	<i>Воздушные формы</i>
	а)добывающие пищу в воздухе, б) высматривающие пищу с воздуха.

По разнообразию жизненных форм можно сделать выводы об особенностях среды обитания и приспособленности разнообразных организмов. Так, у обитателей степей разных континентов встречаются прыгающие, бегающие, роющие, лазающие животные. Однако они не состоят в близко родственных отношениях (рис. 8.5).



АЗИЯ	АФРИКА	АВСТРАЛИЯ
СКАЧУЩИЕ		
Тушканчик 	Кафрский долгоног 	Гигантский рыжий кенгуру 
РОЮЩИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ, КОРМЯТСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ		
Хомяк 	Африканская земляная белка 	Вомбат 
РОЮЩИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ, КОРМЯТСЯ ПОД ЗЕМЛЕЙ		
Слепыш 	Златокрот 	Сумчатый крот 
БЕГАЮЩИЕ ХИЩНИКИ		
Манул 	Гепард  Лев 	Сумчатый "волк" 

Рис. 8.5. Жизненные формы животных — обитателей степей разных континентов

Особенности поступательного движения и образа жизни в пределах каждой группы формируют более специфические приспособительные формы (рис. 8.6). Например, наземные млекопитающие передвигаются главным образом с помощью ходьбы, бега прыжков, что проявляется в их внешнем

облике.

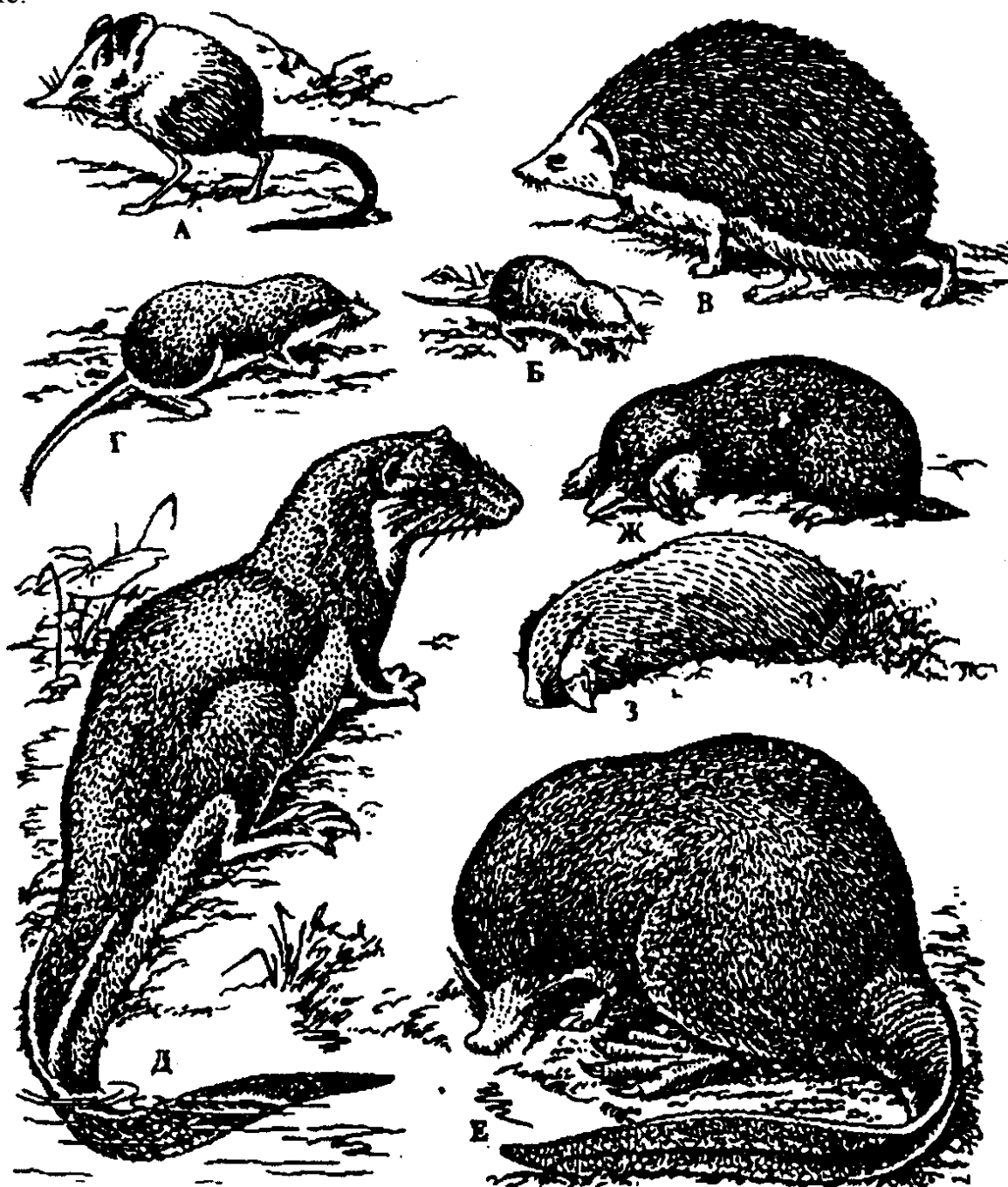


Рис. 8.6. Специфические приспособительные формы в отряде насекомоядных млекопитающих (по С. У. Строганову, 1957)

Наземные формы: А — прыгунчик (*Macroscelides*); Б — землеройка (*Sorex*); В — еж (*Hemiechinus*); земноводные формы: Г — кутора (*Neomys*); Д — выдровая землеройка (*Petamogale*); Е — выхухоль (*Desmana*). Подземно-роющие формы: Ж — крот (*Talpa*); З — златокрот (*Chrisochloris*)

Прыгающие животные (прыгунчики, тушканчики, кенгуровые крысы) отличаются компактным телом с удлинёнными задними конечностями и значительно укороченными передними. Сильно развиты мышцы — разгибатели спины, увеличивающие мощность толчка. Длинный хвост играет роль балансира и руля, который позволяет резко изменять направление движения. У сидящих животных он служит дополнительной точкой опоры.

Сходный тип передвижения и внешний облик имели и некоторые вымершие динозавры мезозоя. Вполне закономерно, что кроме общих адаптивных признаков, каждый вид отличается деталями внешнего строения в зависимости от экологической специфики.

Отчетливо выделяются жизненные формы в пределах любой крупной таксономической группы животных, характеризующиеся экологическим разнообразием видов. Во внешнем облике птиц в значительной мере проявляется приуроченность их к определенным типам местообитаний и характер передвижения при добывании пищи. Птиц в связи с этим различают: 1) древесной растительности, 2) открытых пространств суши, 3) болот и отмелей, 4) водных пространств. В каждой из данных групп выделяют специфические формы: а) добывающие пищу с помощью лазания (многие голуби, попугаи, дятловые, воробьиные и др.); б) добывающие пищу в полете (на открытых пространствах — ржанковые, длиннокрылые, в лесах — совы, козодои и др., над водой — трубко-носые и т. п.); в) кормящиеся при передвижении по земле (на открытых пространствах — журавлиные, страусы, нанду, лесные — большинство куриных, казуары, киви и др., на болотах и отмелях — некоторые воробьиные, голенастые, фламинго); г) добывающие пищу с помощью плавания и ныряния (гагары, большинство веслоногих и гусиных, ряд трубконосых, пингвины и т. д.).

У рыб различают следующие типы форм тела (рис. 8.7).

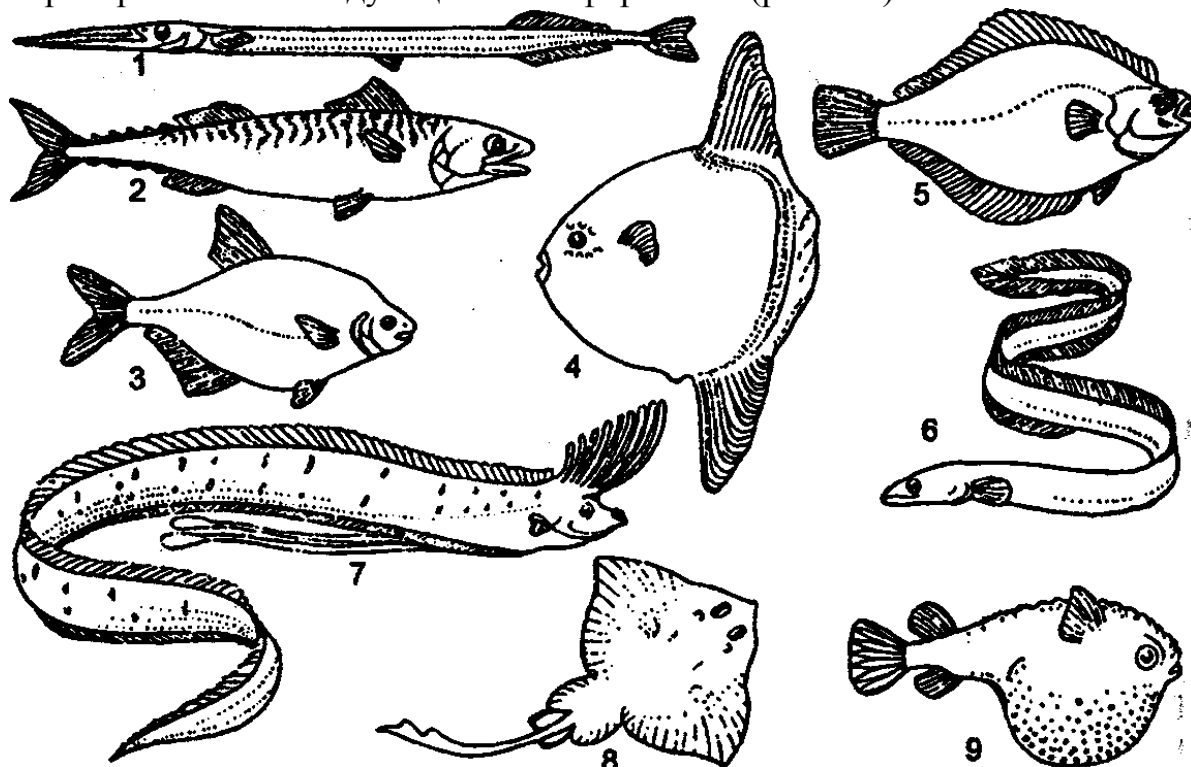


Рис. 8.7. Различные типы формы тела рыб (по Г. В. Никольскому, 1974)

1 — стреловидный (сарган); 2 — торпедовидный (скумбрия); 3 — сплюснутый с боков (лещ); 4 — тип луны-рыбы; 5 — тип камбалы; 6 4-змеевидный (угорь); 7 — лентовидный (сельдяной король); 8 — плоский (скат); 9 — шаровидный (кузовок)

У насекомых В. В. Яхонтов выделяет следующие жизненные формы

(табл. 8.3).

Таблица 8.3

Жизненные формы насекомых (по В. В. Яхонтову, 1969)

-
1. Геобионты — обитатели почвы
 2. Эпигеобионты — обитатели более или менее открытых участков почвы
 3. Герпетобионты — живущие среди органических остатков на поверхности почвы, под опавшей листвой
 4. Хортобионты — обитатели травяного покрова
 5. Тамнобионты и дендробионты — обитатели кустарников и деревьев
 6. Ксилобионты — обитатели древесины
 7. Гидробионты — водные насекомые
-

Применительно к конкретным группам насекомых имеют место специфические особенности, которые находят отражение в жизненных формах. Так, жизненные формы мелких почвенных членистоногих коллембол выделяют на основе приуроченности их к определенным слоям почвенного профиля, так как в почве с глубиной резко меняется весь комплекс условий обитания: размеры полостей, освещенность, режим температуры и влажности (рис. 8.8).

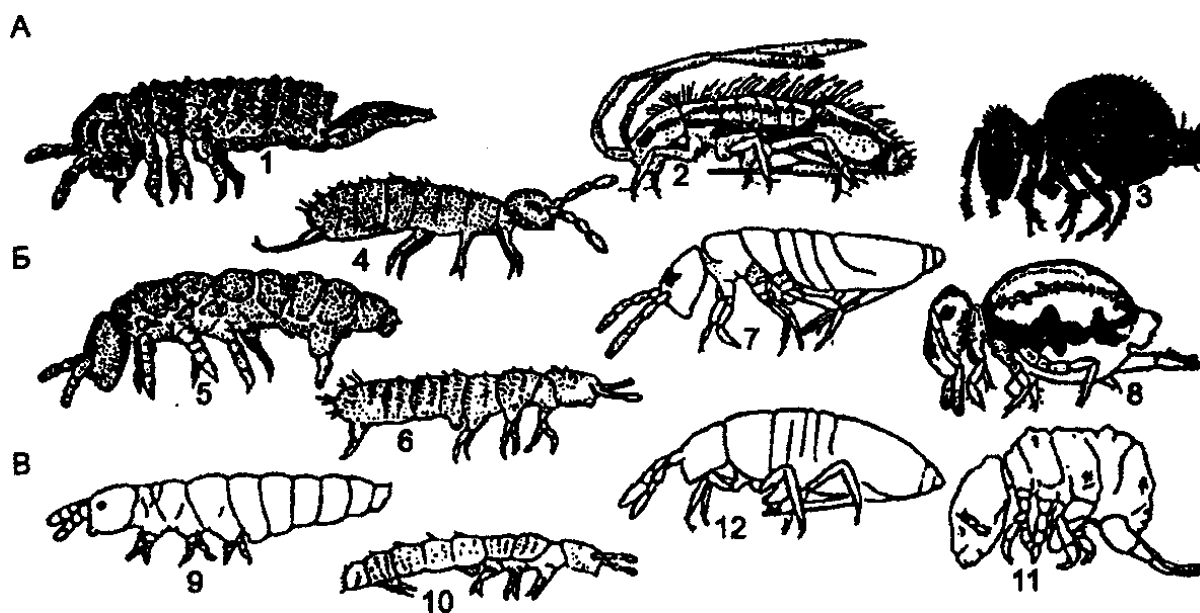


Рис. 8.8. Жизненные формы коллембол (по W. Dunger, 1974):

А — атмобионты: *Podura aquatica* (1) живут на поверхности воды; *Entomolrya muscorum* (2), *Bourietiella hortensis* (3), *Istoma viridis* (4) обитают на поверхности почвы и в травостое. Б — гемизадафические: *Hypogastura viatica* (5), *Folsomia quadriculata* (6), *Lepidocyrtus lanuginosus* (7), *Sminthurinus elegans* (8) живут в рыхлом слое подстилки. В — эузадафические: *Willemia anophtaema* (9), *Isotomodes productus* (10), *Neelus minimus* (11) живут в почве; *Cyphoderus albinus* (12) живут в муравейнике

Жизненная форма организма может изменяться в процессе индивидуального развития. Например, бабочка в процессе развития проходит через формы яйца, гусеницы, куколки, имаго — взрослой особи (рис. 8.9).



Рис. 8.9. Формы индивидуального развития насекомых

По форме (конфигурация тела, структура головы, строение конечностей, летательного аппарата, тип покровительственной окраски) среди саранчовых выделяются *тамнобионты* — обитатели деревьев и кустарников, *хортобионты* — населяющие травянистый ярус, *герпетобионты* — жители надпочвенного слоя органических остатков; обитатели открытых участков грунта: *эремобионты* — на поверхности плотных, глинистых почв, *псаммо-бионты* — на песках и *петробионты* — на каменистых участках с разреженной растительностью.

Таким образом, жизненная форма наглядно свидетельствует о том или ином образе жизни вида.

9. СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИЙ

9.1. Понятие о популяции

В природе каждый существующий вид представляет сложный комплекс или даже систему внутривидовых групп, которые охватывают в своем составе особей со специфическими чертами строения, физиологии и поведения. Таким внутривидовым объединением особей и является популяция. Термин «популяция» был впервые введен в 1903 г. датским ученым Йогансенем для обозначения «естественной смеси особей одного и того же вида, неоднородной в генетическом отношении». В дальнейшем этот термин приобрел экологическое значение, и им стали обозначать население вида, занимающего определенную территорию. По определению С. С. Шварца (1980), *популяция — это элементарная группировка организмов определенного вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.*

Термин «популяция» в настоящее время используют в узком смысле слова, когда говорят о конкретной внутривидовой группировке, населяющей определенный биогеоценоз, и широком, общем смысле, для обозначения обособленных групп вида независимо от того, какую территорию она занимает и какую генетическую информацию несет.

Популяция является генетической единицей вида, изменения которой осуществляет эволюция вида. Как группа совместно обитающих особей одного вида, *популяция выступает первой над-организменной биологической макросистемой.* У популяции приспособительные возможности значительно выше, чем у слагающих ее индивидов. Популяция как биологическая единица обладает определенной структурой и функцией. Структура популяции характеризуется составляющими ее особями и их распределением в пространстве. Функции популяции аналогичны функциям других биологических систем. Им свойствен рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях, т. е. популяции обладают конкретными генетическими и экологическими характеристиками (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Морфологические и экологические особенности в популяций

Популяции	Морфологические особенности	Экологические ' особенности
-----------	-----------------------------	-----------------------------

Камчатская	Особенно крупные зверьки, пышный, длинный шерстяной покров	Леса каменной березы, кедровый стланик
Амурская	Средний и мелкий размер, низкий покров	Смешанные хвойные леса
Енисейская	Размер крупный и средний, шерстяной покров красноватого цвета	Горные хвойные, кедровые, сосновые леса

9.2. Пространственные подразделения популяций

Пространство или ареал, занимаемое популяцией, может быть различным как для разных видов, так и в пределах одного вида. Величина ареала популяции определяется в значительной мере подвижностью особей или *радиусом индивидуальной активности*. Если радиус индивидуальной активности невелик, величина популяционного ареала обычно также невелика (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Величина радиуса индивидуальной активности животных и растений (по А. В. Яблокову, А. Г. Юсуфову, 1976)

Вид	Радиус активности
Виноградная улитка (<i>Helix pomaceae</i>)	Несколько десятков метров
Сельдь (<i>Clupea pareticus</i>)	Несколько сот километров
Песец (<i>Lepus lagopus</i>)	Несколько сот километров
Северный олень (<i>Rangifer tarandus</i>)	Более ста километров
Ондатра (<i>Ondatra zibetika</i>)	Несколько сот метров
Усатые киты (<i>Mysticeti</i>)	Несколько тысяч километров
Дуб (пыльца) (<i>Quercus petraea</i>)	Несколько сот метров

У растений радиус индивидуальной активности определяется расстоянием, на которое могут распространяться пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению. Во многих других случаях *трофический ареал* не совпадает с *репродукционным*. Так, несмотря на огромный трофический ареал белого аиста (*Ciconia alba*), обитающего в Европе, а зимой — в Африке, каждая пара птиц возвращается обычно в район своего старого гнезда, и популяции аистов, хотя и смешиваются на местах зимовок, но во время размножения занимают относительно небольшую территорию.

В зависимости от размеров занимаемой территории Н. П. Наумов (1963) выделяет три типа популяций: элементарные, экологические и географические (рис. 9.1).

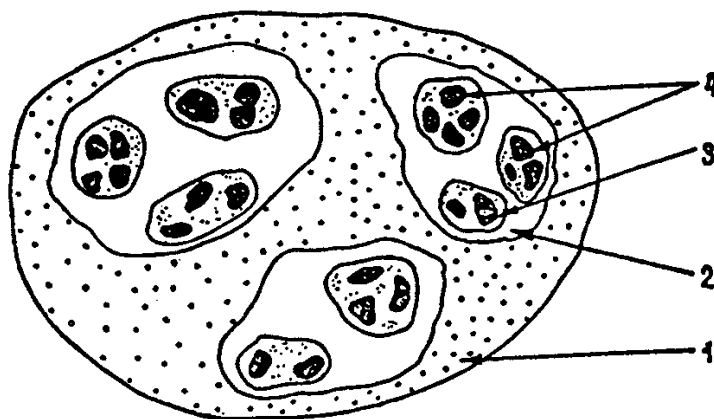


Рис. 9.1. Пространственное подразделение популяций
(по Н. П. Наумову, 1963):

1 — ареал вида; 2—4 — соответственно географическая, экологическая и элементарная популяции

Элементарная, или микропопуляция, — это совокупность особей вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади. В состав их обычно входят генетически однородные особи. Количество элементарных популяций, на которые распадается вид, зависит от разнородности условий среды обитания: чем они однообразнее, тем меньше элементарных популяций, и наоборот. Между элементарными популяциями всегда имеются некоторые отличия, проявляющиеся в генетическом своеобразии, фенологических особенностях, способности к накоплению питательных веществ, интенсивности обмена, в характере поведения, или каждая элементарная популяция морфофизиологически и этологически (поведенчески) специфична, различия между ними определяются их генетическим своеобразием и средой обитания. Однако нередко смешение особей элементарных популяций, происходящее в природе, стирает границы между ними.

Экологическая популяция формируется как совокупность элементарных популяций. В основном это внутривидовые группировки, слабо изолированные от других экологических популяций вида, поэтому обмен генетической информацией между ними происходит сравнительно часто, но реже, чем между элементарными популяциями. Экологическая популяция имеет свои особые черты, отличающие ее в чем-то от другой соседней популяции. Так, белки (*Sciurus vulgaris*) заселяют различные типы леса, и могут быть четко выделены «сосновые», «еловые», «пихтовые», «елово-пихтовые» и другие их экологические популяции.

Выявление свойств отдельных экологических популяций является важной задачей в познании свойств вида и в определении его роли в том или ином местообитании.

Географическая популяция охватывает группу особей, населяющих территорию с географически однородными условиями существования. Географические популяции занимают сравнительно большую территорию, довольно основательно разграничены и относительно изолированы. Они различаются плодовитостью, размерами особей, рядом экологических, физиологических, поведенческих и других особенностей. Для географической популяции характерен генетический обмен, и хотя он может быть редким, но

все же возможен. При перекрестном скрещивании особи каждой популяции приобретают общий морфологический тип, в чем-то несколько отличающийся от соседней географической популяции, с которой регулярного контакта нет. Например, узкочерепная полевка занимает большой ареал. Она встречается в степных районах нашей страны и далеко на севере в зоне тундры. Географические популяции из тех и других районов имеют существенные отличия между собой по физиологии и размерам животных. Тундровые в отличие от степных более крупные, значительно раньше начинают размножаться, обладают более высокой плодовитостью и больше накапливают жира. Отличия настолько четко выражены, что длительное время считали эти группы разными видами. Однако эксперименты показали, что обе формы полевок легко скрещиваются и дают плодовитое потомство, следовательно, принадлежат к одному виду.



С. С. Четвериков

Границы и размеры популяций в природе определяются особенностями не только заселяемой территории, но в первую очередь свойствами самой популяции. Здесь всегда лежит степень ее генетического и экологического единства. Раздробление вида на множество мелких территориальных группировок носит приспособительный характер к большому разнообразию местных условий, что увеличивает генетическое многообразие вида и обогащает его генофонд. Таким образом, наиболее общим правилом является то, что индивиды любого живого вида всегда представлены не изолированными отдельностями, а их определенным образом организованными совокупностями. Это правило было сформулировано в 1903 г. С. С. Четвериковым (1880—1959) и получило название *правила объединения в популяции*.

9.3. Численность и плотность популяций

Основными показателями структуры популяций является численность и распределение организмов в пространстве и соотношение разнокачественных особей. В связи с размерами ареала популяций может значительно изменяться и численность особей в популяциях.

Численность популяции — это общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности. В период размножения происходит рост популяции. Смертность же, наоборот, приводит к сокращению ее численности.

Плотность популяции определяется количеством особей или биомассой на единицу площади либо объема, например: 400 деревьев на 1 га, 0,5 г циклопов в 1 м³ воды. Нередко важно различать *среднюю плотность*, т. е. численность или биомассу на единицу всего пространства, *кудельную или экологическую плотность* — численность или биомассу на единицу обитаемого пространства, доступной площади объема, которые фактически могут быть

заняты популяцией.

Плотность популяции отличается изменчивостью и зависит от ее численности. При возрастании численности не наблюдается увеличение плотности лишь в том случае, когда возможно распределение популяции, расширение ее ареала. Особи, составляющие популяции, имеют различные типы пространственного распределения, выражающие их реакции на различные влияния, например, добычу и благоприятные физические условия или конкурентные реакции. Различают три типа распределения или расселения особей внутри популяции: равномерное, случайное и групповое (рис. 9.2).

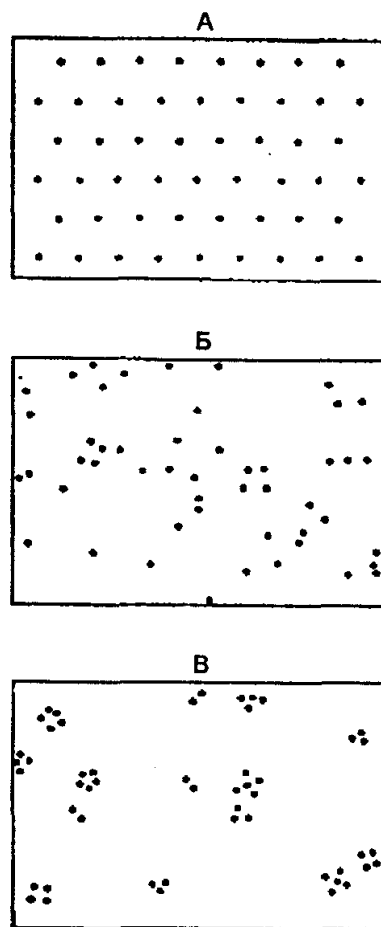


Рис. 9.2. Основные типы распределения особей в популяции:

А — равномерное распределение; Б — случайное распределение; В — групповое распределение (по Одуму, 1986)

Равномерное распределение в природе чаще связано с острой конкуренцией между разными особями. Такой тип распределения отмечают у хищных рыб и у колюшек с их территориальным инстинктом и сугубо индивидуальным характером.

Случайное распределение имеет место только в однородной среде. Так на первых порах распределяется тля на поле. По мере ее размножения распределение приобретает групповой или пятнистый (конгрегационный) характер.

Групповое распределение встречается наиболее часто. Так, в сосновом лесу деревья вначале расселяются группами, а в дальнейшем их размещение становится равномерным. Популяции групповое распределение обеспечивает (по Ю. Одуму, 1986) более высокую устойчивость по отношению к неблагоприятным условиям по сравнению с отдельной особью. Животные, ведущие подвижный образ жизни, как правило, распределяются активно, что приводит к интенсивному перемешиванию популяций и стиранию границ между ними. Например, очень подвижные и активно перемещающиеся песцы, другие животные, птицы имеют огромные ареалы без резких границ между популяциями.

У пассивно передвигающихся и малоподвижных организмов, наоборот, популяции четко разграничены даже на относительно небольшой территории. Таковы популяции наземных моллюсков, многих земноводных. Размеры ареала популяции зависят от величины особей, составляющей ее. Мелкие особи занимают сравнительно небольшие ареалы, тогда как у видов с крупными особями они обширны. Вместе с тем это правило имеет много исключений. Так, территория, занимаемая популяцией прыткой ящерицы *Lacerta agilis*, может колебаться от 0,1 до нескольких гектаров.

Знание типа распределения организмов имеет большое значение при оценке плотности популяции методом выборки (в случае группового размещения площадь выборки должна быть большой). Возьмем n выборок. Среднее число особей в каждой выборке обозначим через m и получим рассеяние или дисперсию S^2 по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum (x-m)^2}{n-1}. \quad (9.1)$$

При равномерном распределении дисперсия S^2 равна нулю, так как число особей в каждой выборке постоянно и равно среднему. В случае случайного распределения среднее m и дисперсия S^2 равны. При групповом распределении рассеяние S^2 выше среднего и разница между ними тем больше, чем сильнее тенденция животных к образованию скоплений.

9.4. Рождаемость и смертность

Динамика численности и плотности популяций находится в тесной зависимости от рождаемости или плодовитости и смертности.

Рождаемость — это способность популяции к увеличению численности. Характеризует частоту появления новых особей в популяции. Различают рождаемость абсолютную и удельную. *Абсолютная* (общая) рождаемость — число новых особей (ΔN_n), появившихся за единицу времени (Δt). Удельная рождаемость выражается в числе особей на особь в единицу времени:

$$b = \frac{\Delta N_n}{\Delta t N}. \quad (9.2)$$

Так, для популяций человека как показатель удельной рождаемости используют число детей, родившихся в год на 1000 человек. В живых

организмах заложена огромная возможность к размножению и подтверждается *правилом максимальной рождаемости (воспроизводства)*: в популяции имеется тенденция к образованию теоретически максимально возможного количества новых особей. Оно достигается в идеальных условиях, когда отсутствуют лимитирующие экологические факторы и размножение ограничено лишь физиологическими особенностями вида. Например, один одуванчик менее чем за 10 лет способен заселить своими потомками земной шар, если все семена прорастут. Другой пример. Бактерии делятся каждые 20 мин. При таком темпе одна клетка за 36 ч может дать потомство, которое покроет сплошным слоем всю нашу планету. Обычно же существует экологическая или реализуемая рождаемость, возникающая в обычных или специфических условиях среды. Средняя величина плодовитости выработана исторически как приспособление, которое обеспечивает пополнение убыли популяций. Естественно, что у менее приспособленных видов к неблагоприятным условиям высокая смертность в молодом (личиночном) возрасте компенсируется значительной плодовитостью.

Среди насекомых самая высокая плодовитость у растительноядных форм, а низкая — у хищников и паразитов. В благоприятных условиях плодовитость, как правило, низкая. Характер плодовитости зависит и от скорости полового созревания, числа генераций в течение сезона, от состояния в популяции самок и самцов. Если вид размножается с большой скоростью и чутко реагирует на изменения условий среды, то численность популяций его быстро и существенно изменяется. Это относится к многим насекомым и мышевидным грызунам. Таким образом, максимальная рождаемость или плодовитость является константой, определяемой расчетным путем, например, умножением среднего числа гнезд, которое способна построить самка птицы за год, на такое же число яиц, которые она может отложить в наиболее благоприятную часть сезона года. Максимальная рождаемость — тот предел, который характерен для скоростей увеличения числа особей в популяции. Правило максимальной рождаемости (воспроизводства) есть частный случай закона максимума биогенной энергии (энтропии) В. И. Вернадского — Э. С. Бауэра.

Численность и плотность популяции зависит и от ее смертности. *Смертность популяции — это количество особей, погибших за определенный период.* Абсолютная (общая) смертность — это число особей, погибших в единицу времени (ΔNm).

Удельная смертность (d) выражается отношением абсолютной смертности к численности популяции:

$$d = \frac{\Delta Nm}{\Delta t N}.$$

Абсолютная и удельная смертность характеризуют скорость убывания численности популяции вследствие гибели особей от хищников, болезней, старости и т. д.

Различают три типа смертности. *Первый тип смертности* характеризуется одинаковой смертностью во всех возрастах. Выражается

экспоненциальной кривой (убывающей геометрической прогрессии). Данный тип смертности встречается редко и только у популяций, которые постоянно находятся в оптимальных условиях.

Второй тип смертности характеризуется повышенной гибелью особей на ранних стадиях развития и свойствен большинству растений и животных. Максимальная гибель животных происходит в личиночной фазе или в молодом возрасте, у многих растений — в стадии произрастания семян и всходов. У насекомых до взрослых особей доживает 0,3—0,5% отложенных яиц, у многих рыб — 1—2% количества выметанной икры.

Третий тип смертности отличается повышенной гибелью взрослых, в первую очередь старых, особей. Отличается он у насекомых, личинки которых обитают в почве, воде, древесине, а также в других местах с благоприятными условиями. В экологии широкое распространение получило графическое построение «кривых выживания» (рис. 9.3).

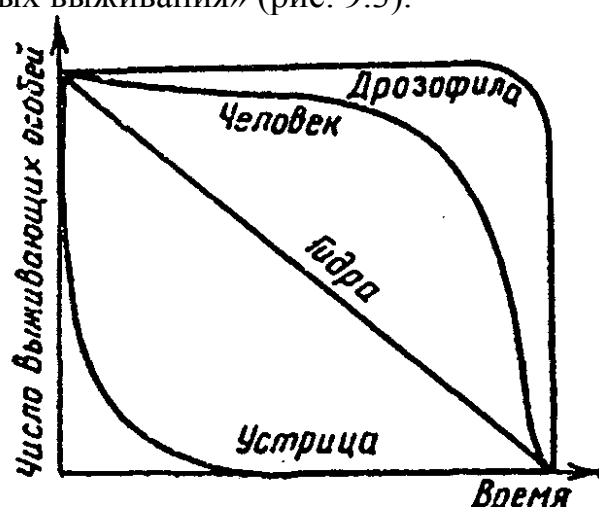


Рис. 9.3. Различные типы кривых выживания

Откладывая по оси абсцисс продолжительность жизни в процентах от общей продолжительности жизни, можно сравнивать кривые выживания организмов, продолжительность жизни которых имеет значительные различия. На основании таких кривых можно определить периоды, в течение которых тот или иной вид особенно уязвим. Поскольку смертность подвержена более резким колебаниям и больше зависит от факторов окружающей среды, чем рождаемость, она играет главную роль в регулировании численности популяции.

9.5. Возрастная структура популяции

Рождаемость и смертность, динамика численности напрямую связаны с возрастной структурой популяции. Популяция состоит из разных по возрасту и полу особей. Для каждого вида, а иногда и для каждой популяции внутри вида характерны свои соотношения возрастных групп. На эти соотношения влияют общая продолжительность жизни, время достижения половой зрелости,

интенсивность размножения — особенности, вырабатываемые в процессе эволюции как приспособления к определенным условиям. По отношению к популяции обычно выделяют три экологических возраста: *предрепродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный*.

Большой жизненный цикл растений включает все этапы развития особи — от возникновения зародыша до ее смерти или до полного отмирания всех поколений ее вегетативно возникшего потомства. В жизненном цикле растений выделяют периоды и возрастные состояния (табл. 9.3, рис. 9.4).

Таблица 9.3

Периоды и возрастные состояния в жизненном цикле растений
(по Н. М. Черновой, А. М. Быловой, 1988)

Периоды	Возрастные состояния особей	Принятое
I. Первичного покоя (латентный)	Покоящиеся семена	
II. Предгенеративный (виргинальный)	Проростки (всходы)	p
	Ювенильные	j
	Имматурные	im
	Виргинальные (молодые вегетативные, v взрослые вегетативные)	
III. Генеративный	Молодые генеративные	g ₁
	Средневозрастные генеративные	g ₂
	Старые генеративные	g ₃
IV. Постгенеративный (старческий, сенильный)	Субсенильные (старые вегетативные)	ss
	Сенильные	s

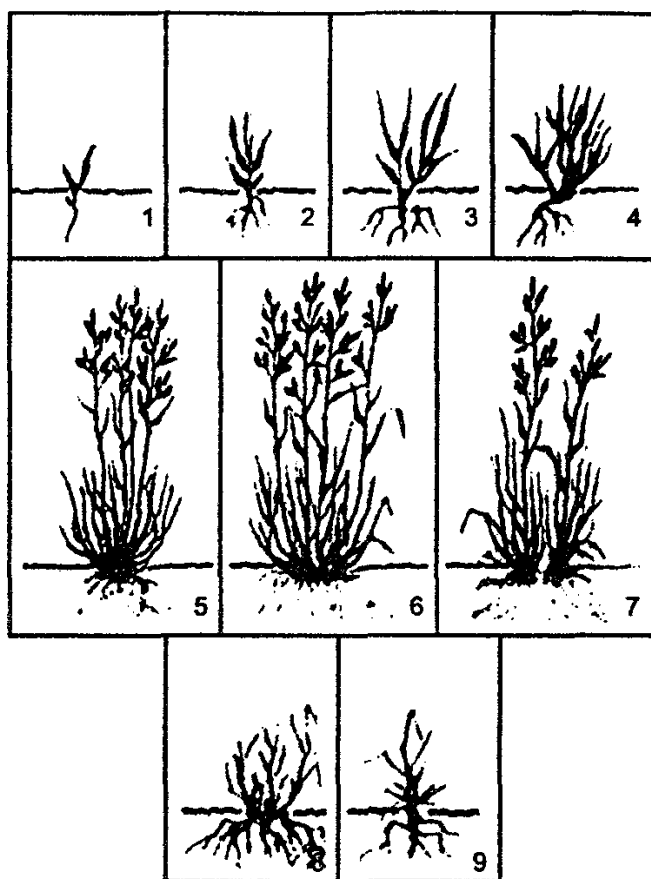


Рис. 9.4. Возрастные группы овсяницы луговой:

1 — проросток; 2, 3, 4 — молодые растения;

5, 6, 7 — взрослые растения, 8, 9 — старые растения

К периоду *первичного покоя* относятся покоящиеся семена; к *предгенеративному* — проростки (всходы), ювенильные, имматурные, виргинальные; к *генеративному* — молодые генеративные, средневозрастные генеративные, старые генеративные; к *постгенеративному* — субсенильные (старые вегетативные), сенильные.

Проростки имеют смешанное питание за счет как запасных веществ, так и собственной ассимиляции. Для них характерно наличие зародышевых структур: семядолей, зародышевого корня, побега. *Ювенильные* растения переходят к самостоятельному питанию. У них, например бобовых, уже отсутствуют семядоли, но организация еще проста: листья иной формы и размера, чем у взрослых. *Имматурные* имеют признаки и свойства, переходные от ювенильных растений к взрослым, происходит смена типов нарастания, начало ветвления и т. д. У *взрослых* вегетативных растений появляются черты типичной для вида жизненной формы в структуре подземных органов. Листья взрослые, генеративные органы отсутствуют. *Молодые генеративные растения* развивают генеративные органы, происходит окончательное формирование взрослых структур. *Средневозрастные генеративные растения* отличаются максимальным ежегодным приростом и семенной продуктивностью. *Старые генеративные растения* характеризуются резким снижением генеративной

функции, ослаблением процессов корне- и побегообразования. Процессы отмирания преобладают над процессами новообразования. *Старые вегетативные растения* отличаются прекращением плодоношения. У них возможно упрощение жизненной формы, появление листьев имматурного типа. *Сенильные растения* крайне дряхлы, при возобновлении реализуются немногие почки, вторично появляются некоторые ювенильные черты: форма листьев, характер побегов.

У растений-монокарпиков, включая однолетних, а иногда и у поликарпиков отсутствует *постгенеративный* период. Распределение особей ценопопуляции по возрастным состояниям называется ее *возрастным спектром*. Счетной единицей могут являться отдельные особи, парциальные кусты (длиннокорневые растения) или одиночные побеги (некоторые длиннокорневищные и корнеотпрысковые растения).

Ценопопуляцию, в возрастном спектре которой в момент наблюдения представлены только семена и молодые особи, называют *инвазионной*. Обычно это молодая ценопопуляция, только что внедрившаяся в фитоценоз. Поддержание ее обеспечивается заносом зачатков извне. Ценопопуляция называется *нормальной*, если она представлена всеми или практически всеми возрастными группами. Она способна к самоподдержанию вегетативным или семенным путями. *Нормальной полночленной* называют популяцию, которая состоит из особей всех возрастных групп. Если особи каких-либо возрастных состояний отсутствуют, например проростки или сенильные, то такая ценопопуляция называется *нормальной неполночленной*. Нормальные неполночленные ценопопуляции имеют монокарпики. Ценопопуляцию, не содержащую молодых особей, а представленную сенильными и субсенильными или даже цветущими особями, но не образующими семян, называют *регрессивной*. Регрессивная ценопопуляция не способна к самоподдержанию и зависит от заноса зачатков извне.

Возрастная структура ценопопуляции в значительной степени определяется биологическими особенностями вида: периодичностью плодоношения, числом продуцируемых семян и вегетативных зачатков, способностью вегетативных зачатков к омоложению, скоростью перехода особей из одного возрастного состояния в другое, длительностью возрастного состояния, способностью образовывать клоны и др.

У многих животных, так же как и у растений, более длительным является предрепродуктивный период. Так, у поденок (Ephemeroidea) он продолжается несколько лет из-за длительного развития личинок. Репродуктивный же их возраст не превышает нескольких дней — время размножения взрослых особей. Пострепродуктивный период здесь практически отсутствует. Популяции быстро восстанавливают свою численность, если особи имеют короткий предрепродуктивный период.

В сокращающихся популяциях преобладают старые особи, которые уже не способны интенсивно размножаться. Данная возрастная структура свидетельствует о неблагоприятных условиях. В быстро растущих популяциях преобладают интенсивно размножающиеся молодые особи. В стабильных

популяциях это соотношение, как правило, составляет 1:1. 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. Так, у полевков (*Clethrionomys*) взрослые особи могут давать потомство 3 раза в год и более, а молодые особи способны размножаться через два—три месяца (рис. 9.5).

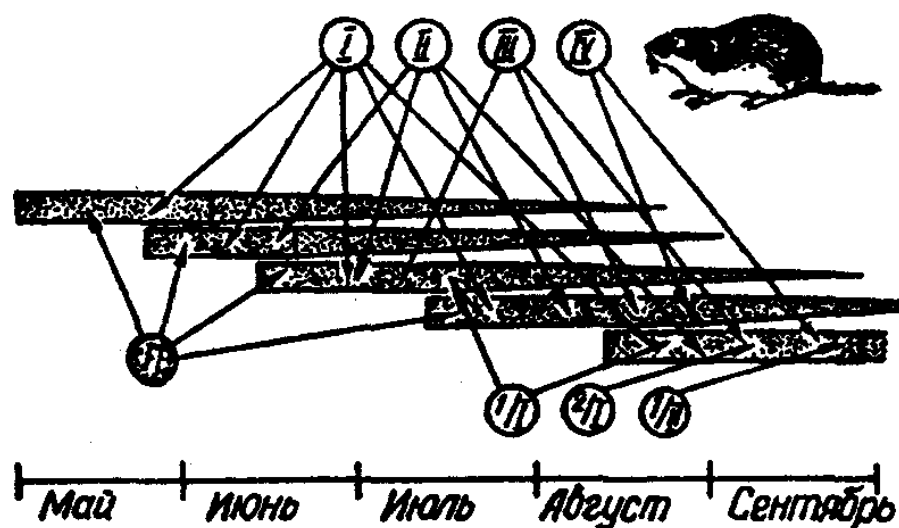


Рис. 9.5. Возрастная структура популяции полевки-экономки на Крайнем Севере (по С. С. Шварцу, 1980);

II — перезимовавшие; I—IV — поколение от перезимовавших; 1/1—2/1 — соответственно первый и второй приплоды от первого поколения; 1/11 — первый приплод от второго поколения

Популяция лосей в любое время года состоит из 10—11 возрастных групп, однако размножаться особи начинают только с пятой возрастной группы.

Еще более сложная картина наблюдается в популяциях растений. К примеру, дубы (*Quercus*) дают семенную продукцию в течение столетий. И как результат, популяции у них формируются из огромного количества возрастных групп.

Таким образом, следствием правила максимальной рождаемости (плодовитости, воспроизводства) популяции служит *правило стабильности ее возрастной структуры*: любая естественная популяция стремится к стабильной возрастной структуре, четкому количественному распределению особей по возрастам. Это правило сформулировано А. Лоткой в 1925 г.

Правило А. Лотки приложимо лишь к высшим организмам с возрастной структурой популяций и не имеет свойств универсальности, хотя в более широком биосистемном смысле оно универсально. Правило стабильности возрастной структуры популяций для многих организмов следует дополнить *правилом стабильности соотношения полов*, если дифференциация по полу вообще существует, что бывает не всегда. В совокупности эти два правила

составляют *правило стабильности половозрастной структуры популяции*.

Для описания возрастной структуры в популяции выделяют возрастные группы, состоящие из организмов одного возраста, и оценивают численность каждой из этих групп. Результаты представляют в виде диаграмм или пирамиды (рис. 9.6).

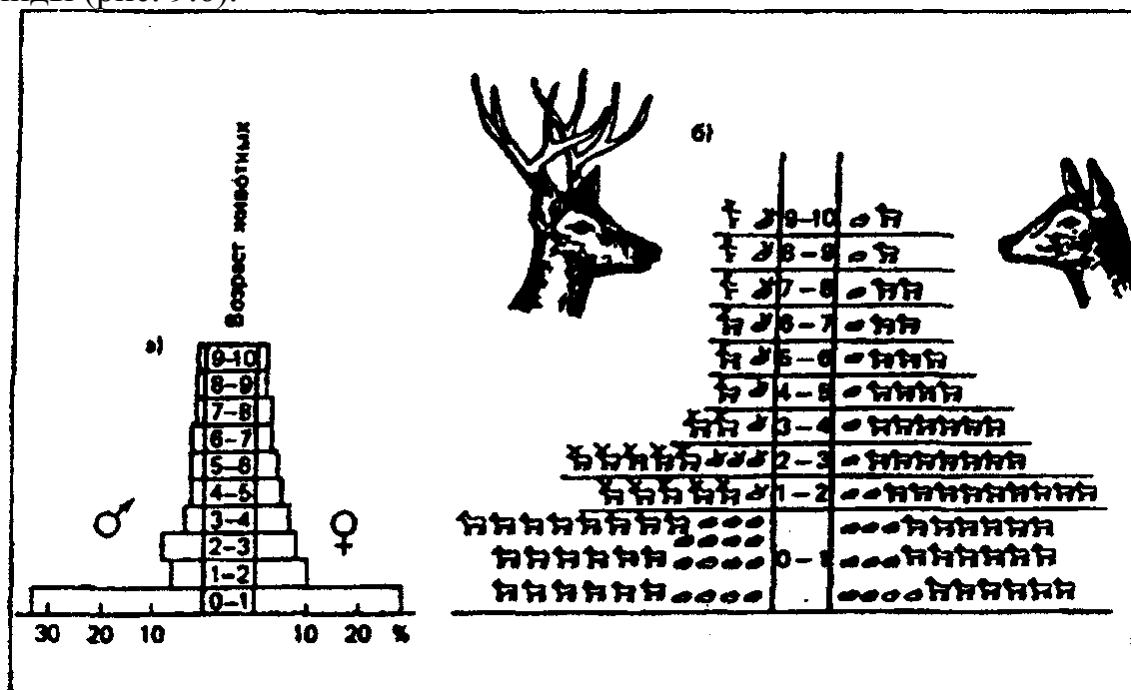


Рис. 9.6. Пирамида возрастов одного из американских оленей:

а) — классическое изображение; б) — изображение с учетом погибших особей в каждой группе (на рисунке слева — самцы, справа — самки) (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Если в популяции размножение происходит постоянно, то по возрастной структуре устанавливают, сокращается или увеличивается численность. Если основание пирамиды широкое (рис. 9.6), это означает, что рождается больше потомства, рождаемость превышает смертность и численность растет (в данном случае — населения бывшего СССР, 1970 г., и Кении, 1969). Если же особей младших возрастных групп меньше, чем более старых, то численность будет сокращаться (рис. 9.7).

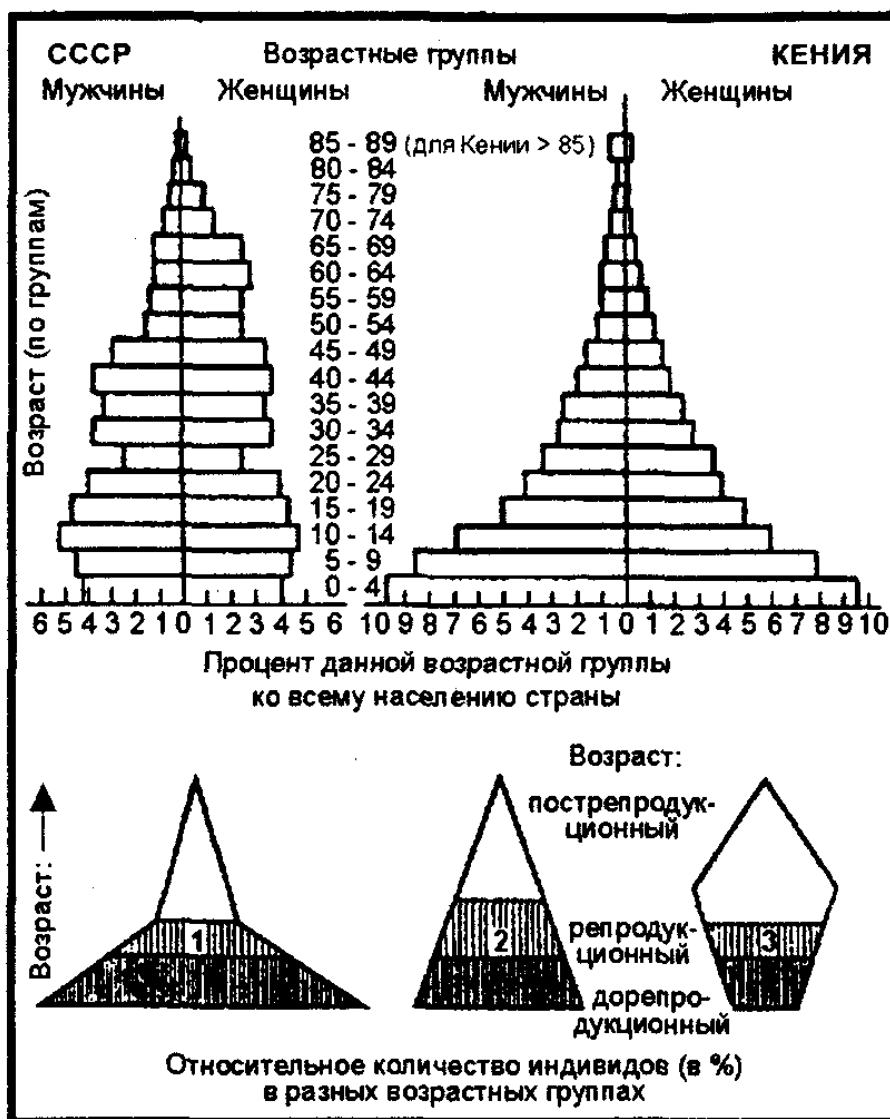


Рис. 9.7. Возрастные пирамиды населения бывшего СССР (1970 г.) и Кении (1969 г.) и типы возрастных пирамид:

1 — массовое размножение; 2 — стабильная популяция; 3 — сокращающаяся популяция (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Условия существования особей разного возраста в популяции часто резко различны. Различна и их смертность: например, личинки многих беспозвоночных и рыб подвержены более высокой смертности, чем взрослые особи.

9.6. Половой состав популяции

Генетический механизм определения пола обеспечивает расщепление потомства по полу в отношении 1:1, так называемое соотношение полов. Но из этого не следует, что такое же соотношение характерно для популяции в целом. Сцепленные с полом признаки часто определяют значительные различия в физиологии, экологии и поведении самок и самцов. В силу разной

жизнеспособности мужского и женского организмов это первичное соотношение нередко отличается от вторичного и особенно от третичного — характерного для взрослых особей. Так, у человека вторичное соотношение полов составляет 100 девочек на 106 мальчиков, к 16—18 годам это соотношение из-за повышенной мужской смертности выравнивается и к 50 годам составляет 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам — 50 мужчин на 100 женщин (см. рис. 9.7).

Экологическое и поведенческое различия между особями мужского пола могут быть сильно выражены. Так, самцы комаров семейства Culicidae в отличие от кровососущих самок в има-гинальный период или не питаются совсем, или ограничиваются слизыванием росы, или потребляют нектар растений. Если даже образ жизни самцов и самок сходен, то они различаются по многим физиологическим признакам: темпам роста, срокам полового созревания, устойчивости к изменениям температуры, голоданию и т. д.

Вторичное и третичное соотношение полов у животных и растений может колебаться и в очень незначительных пределах у разных видов. Существуют популяции, например у некоторых мух, состоящие исключительно из самок. Из самок состоят популяции ряда партеногенетических видов насекомых и ряда других животных. При этом доля партеногенетических самок в разных популяциях может значительно варьировать. У некоторых видов пол изначально определяется не генетическими, а экологическими факторами. У корнеплода *Arisaema japonica* решающим фактором во вторичном определении пола является масса клубней: самые крупные и хорошо развитые клубни дают растения с женскими цветами, а мелкие и слабые — с мужскими цветами.

Наглядно прослеживается влияние условий среды на половую структуру популяций у видов с чередованием половых и партеногенетических поколений. При оптимальной температуре дафнии (*Daphnia magna*) размножаются партеногенетически, а при повышенной или пониженной температуре в популяциях появляются самцы. Появление обоеполого поколения у тли может происходить из-за длины светового дня, температуры, увеличения плотности населения и других факторов.

9.7. Генетические процессы в популяциях

Начало генетического изучения популяций положила работа В. Иогансена «О наследовании в популяциях и чистых линиях», опубликованная в 1903 г., где экспериментальным путем была доказана эффективность действия отбора в гетерогенной смеси генотипов (все природные популяции). Была наглядно продемонстрирована неэффективность действия отбора в *чистых линиях* — генотипически однородном (гомозиготном) потомстве, исходно получаемом от одной самоопыляющейся или самооплодотворяющейся особи.

В настоящее время известно, что все природные популяции *гетерогенны* и насыщены *мутациями*. Генетическая гетерогенность любой популяции при отсутствии давления внешних факторов должна быть неизменной, находиться в определенном равновесии. А. В. Яблоков, А. Г. Юсупов (1998) приводят

расчеты на двух примерах, впервые сделанные Г. Харди (1908).

Предположим, что в популяции число форм гомозиготных по разным аллелям одного гена (AA и aa) одинаково. Если особи — носители данных аллелей совершенно свободно скрещиваются друг с другом, то возможны следующие комбинации:

Самки	Самцы	
	0,5A	0,5a
0,5A	0,25AA	0,25Aa
0,5a	0,25Aa	0,25aa

Цифры показывают, что в данном поколении в популяции будут возникать гомозиготы AA и aa с частотой по 0,25, а гетерозиготы Aa — с частотой 0,50. Это же соотношение сохранится и в следующем поколении: частота гамет с рецессивным аллелем a составит 0,5 (0,25 от гомозигот aa+0,25 от гетерозигот Aa), также как и частота гамет с доминантным аллелем A (0,25 от гомозигот AA+0,25 от гетерозигот Aa). Это же соотношение сохранится во всех следующих поколениях, если не будет нарушено каким-либо внешним давлением.

Определенно, в подавляющем большинстве случаев в популяции встречается разное число гомозигот AA и aa. Разберем пример, когда частота аллелей данного гена в популяции будет 0,7 a, 0,3A:

Самки	Самцы	
	0,3A	0,7a
0,3A	0,09AA	0,21Aa
0,7a	0,21Aa	0,49aa

Следовательно, в потомстве на 100 зигот будет 9 гомозигот AA, 49 гомозигот aa и 42 гетерозиготы Aa. В следующем поколении гаметы с аллелем A будут возникать с частотой 0,3 (0,09 от гомозигот AA+0,21 от гетерозигот Aa), а гаметы с аллелем a будут возникать опять-таки с частотой 0,7 (0,49 от гомозигот aa+0,21 от гетерозигот Aa). Как и в первом примере, это соотношение сохранится в каждой последующей генерации.

Если частоту встречаемости одного аллеля данного гена определить как q, то частота альтернативного аллеля того же гена может быть определена как 1—q. В потомстве свободно скрещивающихся особей должны быть следующие отношения таких аллелей:

Самки	Самцы	
	q	(1-q)
q	q·q	q·(1 - q)
(1 - q)	q·(1 - q)	(1 - q)·(1 - q)

При суммировании это дает:

$$q^2 + 2q(1-q) + (1-q)^2 \text{ или } [q+(1-q)]^2.$$

Эта формула носит название *формулы Харди—Вайнберга* и позволяет *рассчитывать относительную частоту генотипов и фенотипов в популяции*. Так, предположим, что в популяции каких-либо жуков обнаружены красные формы с частотой 25% (или 0,25) и черные с частотой 75% (или 0,75); черный цвет определяется доминантным аллелем А, а красный — рецессивным аллелем а. При этом частота встречаемости генотипов aa составит $(1-q)^2 = 0,25$, а частота встречаемости аллеля а составит $\sqrt{(1-q)^2} = \sqrt{0,25} = 0,5$. Согласно той же формуле частота доминантного аллеля А составит $1-0,5 = 0,5$, а частота гомозиготных доминантных генотипов AA составит в популяции $q^2 = 0,5^2 = 0,25$.

Итак, при анализе природных совокупностей особей (популяций) необходимо различать понятия: *частота гена* (количественное соотношение аллелей одного какого-либо локуса), *частота генотипа* (количественное соотношение разных генотипов) и *частота фенотипа* (количественное соотношение разных фенотипов).

Формула Харди—Вайнберга пригодна лишь для предельно упрощенной ситуации, для идеальной бесконечно большой популяции (иногда ее называют «менделевской») и при отсутствии давления каких-либо факторов. Кроме того, как известно, на частоту фенотипов оказывает влияние не только частота данного аллеля, но и такие его свойства, как доминантность, рецессивность, пенетрантность и экспрессивность. Таким образом, при анализе природных популяций данная формула применима лишь с большими оговорками.

Существование двух (или более) генетически различных форм в популяции в состоянии длительного равновесия в таких соотношениях, что частоту даже наиболее редкой формы нельзя объяснить только повторными мутациями, называется *полиморфизмом*. В качестве примера полиморфизма можно привести три формы цветков у примулы (*Primula vulgaris*), рис. 9.8.

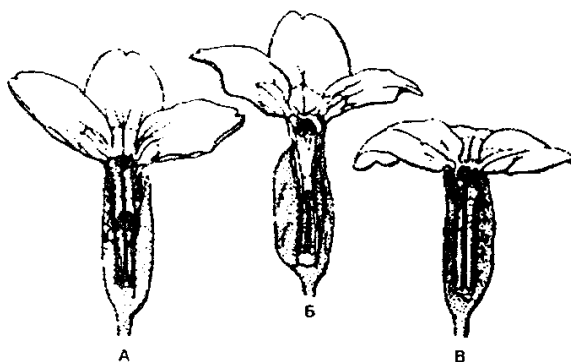


Рис. 9.8. Три формы цветков у примулы (*Primula vulgaris*), из Ф. Шеппарда, 1970

В природных популяциях примулы (*Primula vulgaris*) всегда есть особи с длинным пестиком и короткими пыльниками (А), длинными пыльниками и коротким пестиком (Б) и одинаковыми по длине пыльниками и пестиком (В). Самоопыление возможно только у цветов типа В. Гетеростилия способствует

перекрестному оплодотворению.

Полиморфизм по механизму возникновения и поддержания разделяется на две большие группы: *гетерозиготный* и *адаптационный*.

Гетерозиготный полиморфизм устанавливается в результате давления на популяцию естественного отбора, положительно отбирающего гетерозигот.

Адаптационный полиморфизм — это две или несколько генетически различных форм внутри популяции, подвергающихся положительному отбору в разных экологических условиях.

В качестве примера можно привести адаптационный полиморфизм в популяции двухточечной тлевой (божьей) коровки *Adalia bipunctata* (рис. 9.9).

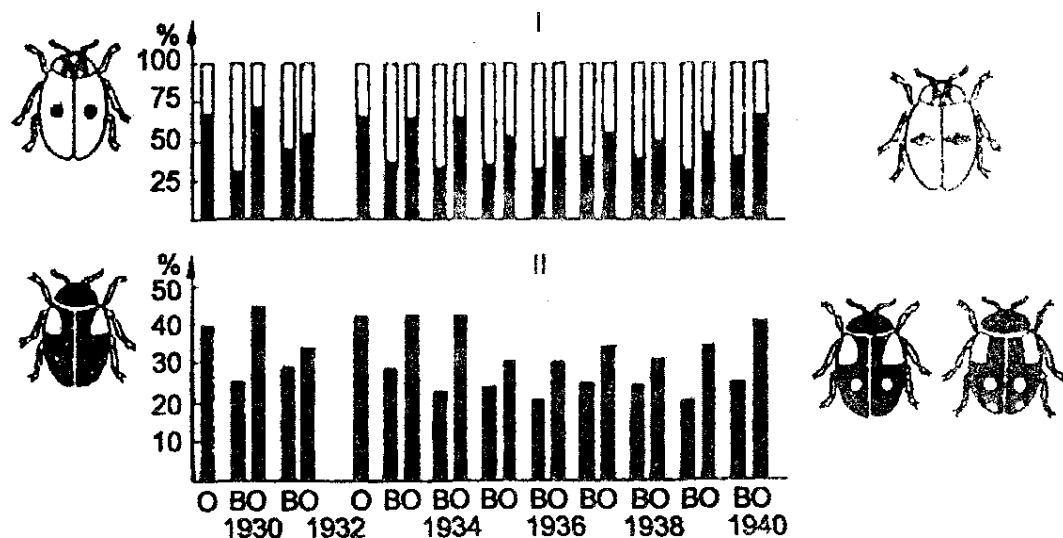


Рис. 9.9. Адаптивный полиморфизм в популяции тлевых (божьих) коровок *Adalia bipunctata*:

I — процентное содержание черной и красной форм при весеннем (B) и осеннем (O) сборах; II — частота доминантного гена А (черная окраска) в популяциях весной и осенью каждого года (в%) (по Н. В. Тимофееву-Ресовскому и Ю. М. Свирежеву, 1965)

На протяжении 10 лет в изучении популяции тлевой коровки осенью — при уходе на зимовку — черных форм было от 50 до 70%, а весной — при выходе из зимовки — от 30 до 45%. Красных форм осенью было меньше 50%, а весной — больше. Красные формы, как было установлено, лучше переносят в зимний период холод, а черные — интенсивнее размножаются летом. Отсюда отбор направлен на сохранение большего числа красных жуков зимой и черных — летом. Разнонаправленное давление отбора в отдельные периоды жизни популяции способствует выработке устойчивого адаптационного полиморфизма.

Положение о генетическом единстве популяции является одним из наиболее важных выводов популяционной генетики: *любая популяция представляет сложную генетическую систему, находящуюся в динамическом равновесии.*

9.8. Рост популяций и кривые роста

Если рождаемость в популяции превышает смертность, то популяция, как правило, будет расти. С увеличением плотности скорость роста популяции постепенно снижается до нуля. При нулевом росте популяция стабильна, т. е. размеры ее не меняются. Отдельные организмы при этом могут расти и размножаться. Нулевая скорость роста означает лишь то, что скорость размножения, если оно происходит, уравновешена смертностью. Данная картина характерна для ряда одноклеточных и многоклеточных организмов, например для клеток водорослей в культуральной жидкости, для фитопланктона озер и океанов весной, для насекомых (мучные хрущаки, а также клещи, интродуцированные в новое местообитание с обильными запасами пищи, где нет хищников).

Миграция, или расселение, так же как и внезапное снижение скорости размножения, может способствовать уменьшению численности популяции. Расселение может быть связано с определенной стадией жизненного цикла, например с образованием семян. Рассматривая вопрос об оптимальных размерах популяции в данной среде, следует учитывать *поддерживающую емкость* или кормовую продуктивность среды. Чем выше поддерживающая емкость, тем больше максимальный размер популяции, который может существовать неопределенно долгое время в данном местообитании. Дальнейшему росту популяции будут препятствовать один или несколько лимитирующих факторов. Это зависит от доступности ресурсов для данного вида.

Таким образом, скорость роста популяции в естественных местообитаниях будет зависеть от климатических изменений, от снабжения пищей и от того, ограничено ли размножение определенным временем года и др., что должно учитываться при составлении моделей или их усовершенствовании.

Математические модели экспоненциального роста популяций и роста при ограниченных ресурсах. Рост численности популяции в геометрической прогрессии можно описать с помощью простых уравнений. Так, в популяции с исходной численностью в N особей за промежуток времени Δt появляется ΔN новых особей. Если число вновь появившихся особей прямо пропорционально N и Δt , то имеем уравнение $\Delta N = r \cdot \Delta t \cdot N$. Разделив обе его части на Δt , получим

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = r \cdot N \quad (9.4)$$

Величина $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ - абсолютная скорость роста численности,

r — биотический потенциал или удельная скорость роста численности.

За малый промежуток времени изменение численности равно ее

производной $\frac{dN}{dt}$, и уравнение (9.4) можно переписать так:

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N. \quad (9.5)$$

Решение этого уравнения — функция

$$N(t) = N_0 \cdot e^n. \quad (9.6)$$

Здесь e — основание натуральных логарифмов ($e \approx 2,72...$). График этой функции и есть экспонента (рис. 9.10,вверху).

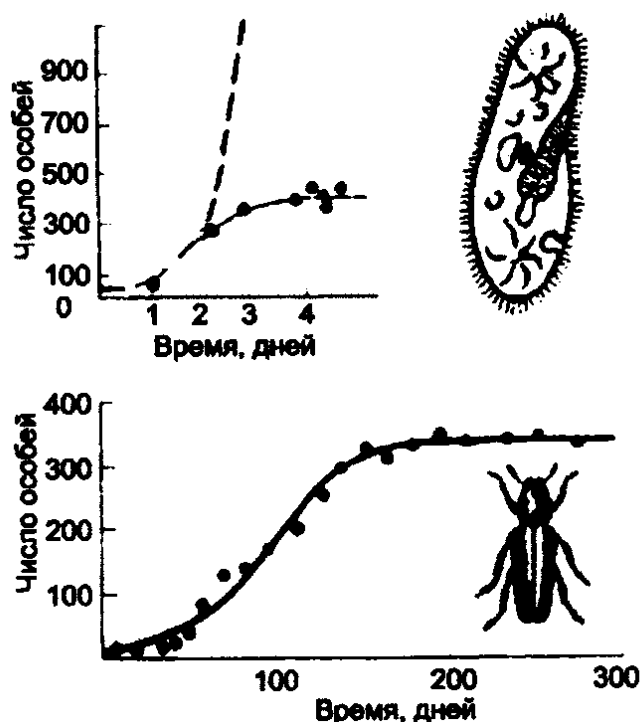


Рис. 9.10. Реальная и теоретическая кривые роста численности инфузорий-туфелек (вверху) и рост численности жуков определенного вида в культуре (численность меняется по правилам логистического роста)

Пунктирная линия — теоретическая кривая (экспонента); сплошная линия — в реальной культуре рост численности замедляется и через определенное время останавливается

В модели экспоненциального роста удельную рождаемость b и удельную смертность d можно обозначить как $\frac{\Delta N}{N \Delta t}$.

При этом в замкнутой популяции

$$\Delta N \approx b \cdot N \cdot \Delta t - d \cdot N \cdot \Delta t;$$

$$r = b - d. \quad (9.7)$$

Если смертность выше рождаемости, то убывание численности тоже описывается уравнением (9.6), но с отрицательным r . Такой процесс называют экспоненциальным затуханием численности.

Модель динамики численности популяции при органических ресурсах

предложил в 1845 г. французский математик Ферхюльст. Уравнение, которое носит его имя, выглядит так:

$$\frac{dN}{dt} \approx r \cdot N - m \cdot N^2$$

(9.8)

Уравнение Ферхюльста отличается от уравнения экспоненциального роста тем, что в правой его части добавляется выражение mN^2 . Это выражение учитывает число встреч животных, при которых они могут конкурировать за какой-либо ресурс: вероятность встречи двух особей пропорциональна квадрату численности (точнее, плотности) популяции. У многих животных рост численности популяции действительно ограничивается именно частотой встреч особей.

Перепишем уравнение Ферхюльста следующим образом:

$$\frac{dN}{dt} \approx (r - mN)N \quad (9.9)$$

Выражение в скобках — удельная скорость роста численности. Здесь она непостоянна и убывает с увеличением численности популяции. Это отражает усиление конкуренции за ресурсы по мере роста численности.

Если в уравнении (5) вынести в правой части rN за скобки и обозначить

$\frac{m}{r}$ за $\frac{1}{K}$, то получим:

$$\frac{dN}{dt} \approx rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \quad (9.10)$$

Если N мало по сравнению с K , то выражение в скобках близко к единице: при этом уравнение (9.10) переходит в уравнение экспоненциального роста. График роста численности будет при малых N близок к экспоненте. Когда N близко к K , выражение в скобках близко к нулю, т. е. численность популяции перестает увеличиваться. Отсюда ясно, что K в данной модели — это и есть емкость среды. При N больших, чем K , абсолютный прирост численности становится отрицательным, и численность убывает до величины, равной емкости среды. График зависимости численности популяции от времени, соответствующий решению уравнения (9.10), — S-образная кривая, подобная изображенной на рис. 9.10, внизу. Эта кривая называется *логистической кривой*, а рост численности, соответствующий уравнению (9.10), — *логистический рост*.

На логистической кривой есть точка, где абсолютная скорость роста численности максимальна. Можно показать, что максимальная скорость роста достигается, когда численность равна.

Популяции, существующие в условиях ограниченных ресурсов, нередко хорошо подчиняются правилам логистического роста.

10. ВНУТРИВИДОВЫЕ И МЕЖВИДОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ, ГОМЕОСТАЗ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ

10.1. Внутривидовые взаимоотношения

Многообразное население популяции постоянно взаимодействует между собой. Удовлетворение потребностей в питании, распределении кормовых угодий, выбор места для постройки гнезда, спаривание, выращивание потомства, охрана занимаемой территории, расселение и т. д. осуществляются при постоянном взаимодействии особей, входящих в каждую популяцию, которая и обеспечивает ее существование.

Эти связи складывались по мере образования и развития вида как целостной системы. Поэтому все особи, входящие в популяцию, обладают и общностью происхождения, и многочисленными специфическими приспособлениями к совместной жизни (рис. 10.1).

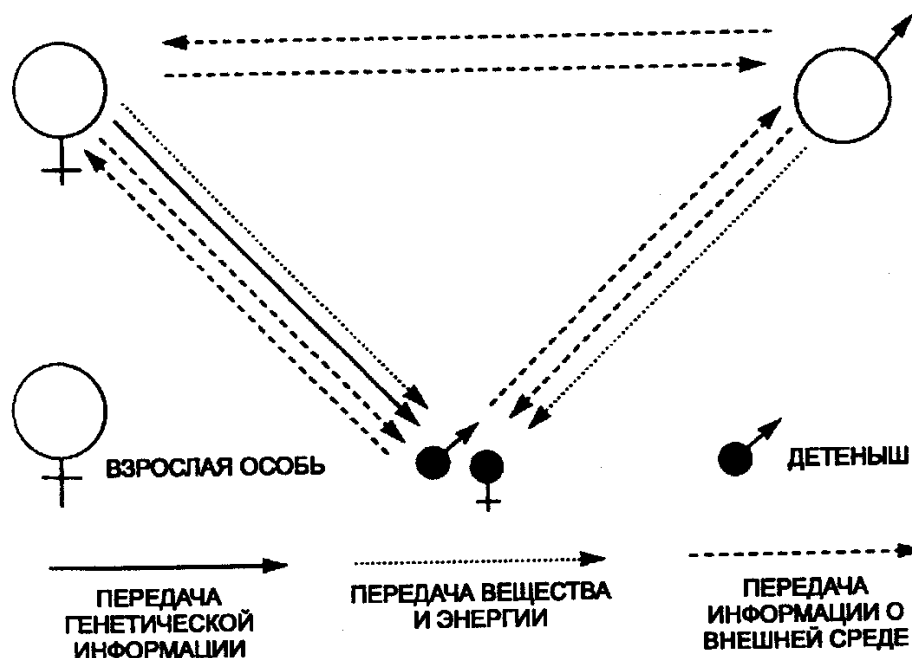


Рис. 10.1. Связи особей в популяции (на примере млекопитающих)

Эти приспособления, названные С. А. Северцовым (1951) *кон-! грукциями*, охватывают морфофизиологические и этологические (поведенческие) черты. Сюда можно отнести: особенности строения,

обеспечивающие встречи разнополых особей, размножение, выращивание молодняка, приспособления, обеспечивающие расселение или объединения в стаи (к миграциям или на зиму), разнообразные «сигналы» — запахи, цвет, голос, поведение и др. — все, что привлекает или отвлекает особей, предупреждает их о занятой территории (рис. 10.2).

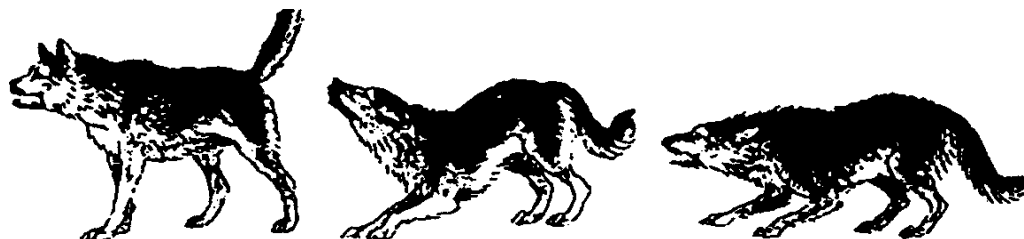


Рис. 10.2. Информационная нагрузка разных поз собак

Данные приспособления могут носить характер индивидуальных и групповых контактов. Они по-разному осуществляются на разных стадиях развития организмов и могут меняться в течение жизни особи, в разные сезоны года, а также в связи с изменениями условий жизни.

Взаимоотношения между членами популяции зависят прежде всего от того, одиночный или групповой образ жизни свойствен виду. Формы же существования особей в популяции чрезвычайно различны.

Одиночный образ жизни. Особи популяции обособлены и независимы друг от друга. Характерен для многих видов, главным образом на определенных стадиях жизненного цикла. Полностью одиночное существование организмов в природе не встречается. Причиной этого является невозможность осуществления их основной жизненной функции — размножения. Однако для некоторых видов характерны очень слабые контакты между совместно живущими особями. Так, у видов с внутренним оплодотворением встречи самцов и самок могут быть очень кратковременными, для осуществления копуляции. В остальное время животные живут отдельно, независимо друг от друга, например хищные жуки-жужелицы, божьи коровки и многие другие насекомые. Подобный образ жизни ведут отдельные водные обитатели (одиночные актинии) с нарушенным способом оплодотворения, при котором нет необходимости в непосредственной встрече партнеров. Нередко виды с одиночным образом жизни образуют временные скопления особей в период, предшествующий размножению, в местах зимовок и т. д. Бабочки-крапивницы поздней осенью в большом количестве собираются в чердачных помещениях, божьи коровки и жужелицы — возле пней и комлей деревьев в сухой подстилке, щуки и сомы — в зимовальных ямах на дне водоема. Вместе с тем подобные скопления не сопровождаются установлением тесных связей между животными. Каждое из них относительно независимо от остальных.

Усложнение отношений внутри популяций происходит по двум направлениям: усилению связи между половыми партнерами и возникновению

контактов между родительским и дочерними поколениями. В популяциях на этой основе формируются семьи, разнообразные по составу и длительности существования. Родительские пары могут создаваться на короткий или длительный срок, а у некоторых видов — на всю жизнь взрослых особей. Среди птиц тетерева, глухари не образуют устойчивых семейных пар. У многих воробьиных самка и самец держатся вместе в течение всего периода гнездования. Сохраняются на долгие годы семейные пары лебедей, журавлей, голубей. Выбор партнеров у животных сопровождается особым брачным поведением, нередко большой сложности, — «танцы», «ухаживания» и др.

У многих насекомых, птиц и млекопитающих ухаживание нередко предотвращает агрессивные и оборонительные реакции особей противоположного пола, приводит к синхронизации полового созревания, стимулирует готовность к спариванию, что имеет большое значение для размножения, к которому самец и самка должны быть готовы в одно и то же время.

В период выбора половых партнеров в популяциях животных усиливаются конкурентные отношения. У многих животных возникают драки самцов, ритуальные демонстрации и другие типы специализированного поведения, которые направлены на устранение конкурентов (рис. 10.3).

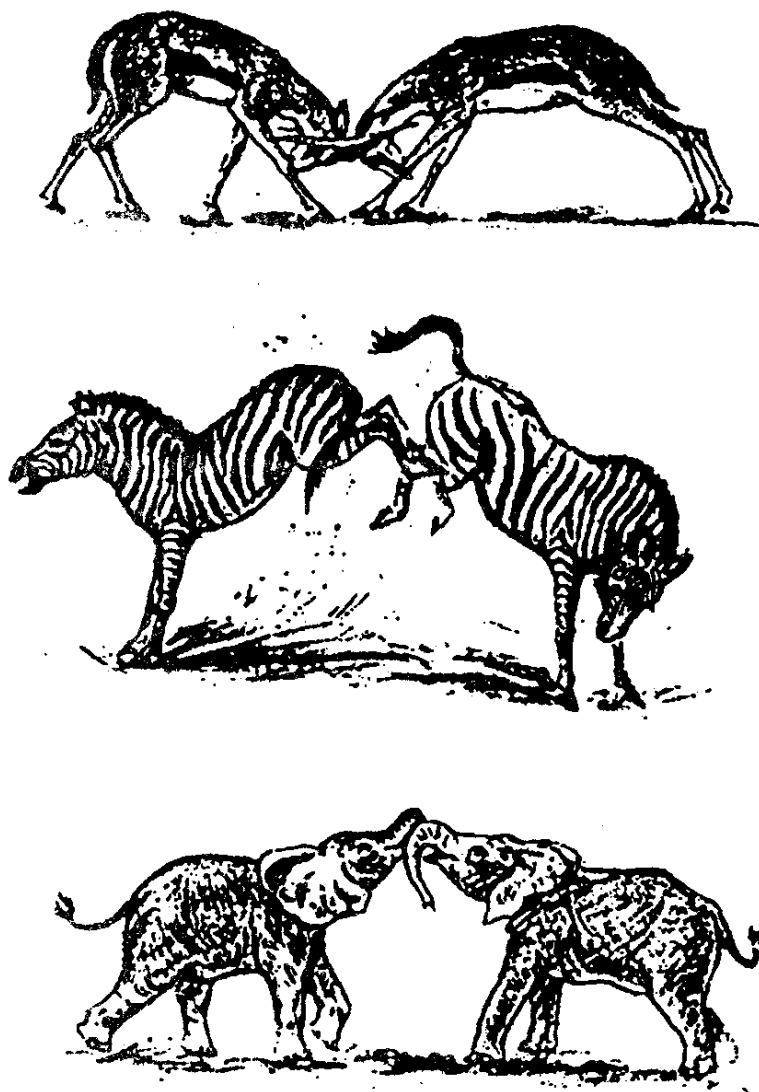


Рис. 10.3. Турнирные бои в «брачный период» у млекопитающих (по А. О. Рувинскому и др., 1993)

Несмотря на частую ожесточенность, эти столкновения редко приводят к большим травмам соперников, большей частью ограничиваются изгнанием одного из них с территории, где находится самка. Токующие туруханы стремительно бросаются друг на друга, а затем внезапно замирают со взъерошенным «воротником», после этого вновь повторяют броски. В таких сражениях у рыб преобладает ритуал угрозы или противники кусают друг друга в пасть — наименее уязвимую часть тела, но не наносят более опасных укусов в бок.

Следовательно, период, предшествующий размножению в популяциях животных, характеризуется активным поиском и резким усилением контактов между особями.

Семейный образ жизни. Усиливает связи между родителями и их потомством. Простейшим видом такой связи является, например, забота одного из родителей об отложенных яйцах — охрана кладки, инкубации, дополнительное аэрирование и т. д. У птиц забота о птенцах продолжается до

поднятия их на крыло, а у ряда крупных млекопитающих, таких, как медведи, тигры, детеныши воспитываются в семейных группах до наступления их половой зрелости, в течение нескольких лет. В зависимости от того, кто из родителей берет на себя уход за потомством, различают семьи *отцовского*, *материнского* и *семейного* типов. В охране и выкармливании потомства в семьях с устойчивым образованием пар принимают участие обычно как самец, так и самка.

Дальнейшее усложнение поведенческих связей в популяциях приводит к формированию более крупных объединений животных — колоний, стай, стад.

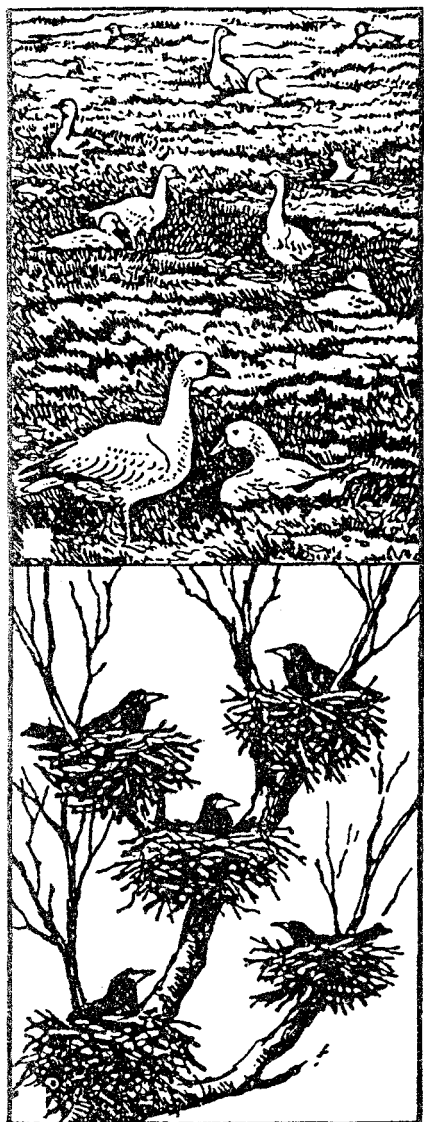


Рис. 10.4. Колониальные гнездовья у птиц
(из Н. М. Черновой, А. М. Быловой, 1981):

А — колонии белых гусей в тундре;
В — колонии грачей

Колонии — групповые поселения оседлых животных, которые могут существовать длительное время или создаваться на период размножения, как у птиц (гуси, грачи, гагары, чайки и др.), рис. 10.4.

Колонии животных отличаются разнообразием — от простых территориальных скоплений одиночных форм до объединений, где отдельные члены, как органы в целостном организме, выполняют разные функции видовой жизни. Так, сифонофора *Salacia* — единая, на первый взгляд, особь — образована множеством отдельных специализированных особей и представляет колонию.

Развитие колонии начинается с одного индивидуума, который размножается почкованием. Отдельные отпочковывающиеся особи могут либо вести самостоятельную жизнь, либо стать специализированными частями материнской колонии.

Поселения животных, где некоторые функции их жизни выполняются сообща, что увеличивает вероятность выживания отдельных особей, является более сложной формой колонии. Такими общими функциями колонии чаще всего становятся защита от врагов и предупредительная сигнализация. Чайки, ласточки, гуси и другие птицы с шумом набрасываются на хищника, угрожающего кладкам или птенцам. Поднятая заметившей опасность птиц тревога мобилизует остальных. Птицам сообща удается изгонять крупных хищников, с которыми они не справились бы поодиночке — сов, ястребов, песцов и др. Часто сохраняются индивидуальные гнездовые участки в

колониальных поселениях птиц. Так, у серебристых чаек колонии рыхлые, между гнездами сохраняется расстояние 3—5 м.

Городские же ласточки лепят свои гнезда часто вплотную одно к другому. Территориальные инстинкты здесь не проявляются совсем. Общественные ткачики строят на деревьях большое общее гнездо из травы с многочисленными отверстиями, ведущими в индивидуальные гнездовые полости.

Колонии млекопитающих (сурки, вискачи, пеструшки, пищухи) чаще возникают на основе разрастания семейных групп, с сохранением связей между отпочковывающимися семьями.

Сложные колонии у общественных насекомых, таких, как муравьи, термиты, пчелы, возникают на основе сильно разрастающейся семьи. В колониях-семьях насекомые выполняют сообща большинство основных функций: размножения, защиты, обеспечения кормом себя и потомства, строительства и т. д. Здесь существует обязательное разделение труда и специализация отдельных особей, возрастных групп на выполнение определенных операций. Члены колонии действуют на основе постоянного обмена информацией друг с другом.

По мере усложнения колониального объединения поведение, а нередко физиология и строение отдельной особи все больше и больше подчиняются интересам всей колонии.

Стаи — временные объединения животных, которые проявляют биологически полезную организованность действий. Стаи облегчают выполнение каких-либо функций в жизни вида: добыча пищи, защита от врагов, миграции. Стайность наиболее широко распространена среди рыб и птиц, у млекопитающих — многих собачьих. В стаях сильно развиты подражательные реакции и ориентация на соседей.

Действия стаи по способам координации действий делятся на две категории: 1) *эквипотенциальные* — без выраженного доминирования отдельных членов; 2) *стаи с лидерами*, где животные ориентируются на поведение одной или нескольких, как правило, наиболее опытных особей. Объединения первого типа известны у рыб, мелких птиц, перелетной саранчи. У крупных птиц и млекопитающих встречается обычно второй тип стай.

Стаи рыб изменчивы по величине, форме, плотности, нередко переформируются по нескольку раз в сутки. Рыбы группируются в стаи в светлое время суток, при зрительном контакте с другими особями, и рассредоточиваются на ночь. Защитная роль стайных объединений рыб велика. При опасности стая рыб быстро маневрирует, обтекая хищника, который, например, бросившись в ее середину, оказывается в пустыне. Для поведения рыб в стае характерен имитационный рефлекс — подражание действиям соседей.

Стаи у птиц формируются при сезонных перелетах или у оседлых и кочующих форм, при зимних кормежках. При перелетах стаи образуют те виды, которым свойственно колониальное гнездование или коллективное кормление. Одиночно гнездящиеся и кормящиеся виды стай в полете не

образуют.

Существует постоянная сигнализация, звуковая и зрительная связь между особями в стаях оседлых птиц, которая используется для обнаружения благоприятных мест ночевки и отдыха, источников корма, восходящих потоков воздуха и т. д. Так, подобно пионерам Дикого Запада в вестернах, виргинские перепелки образуют на ночь кольцо «спина к спине» (рис. 10.5). Такая привычка не только помогает им уберечься от хищников, но и согревает холодными осенними и зимними ночами. Вспугнутые перепелки врассыпную взлетают в разные стороны.

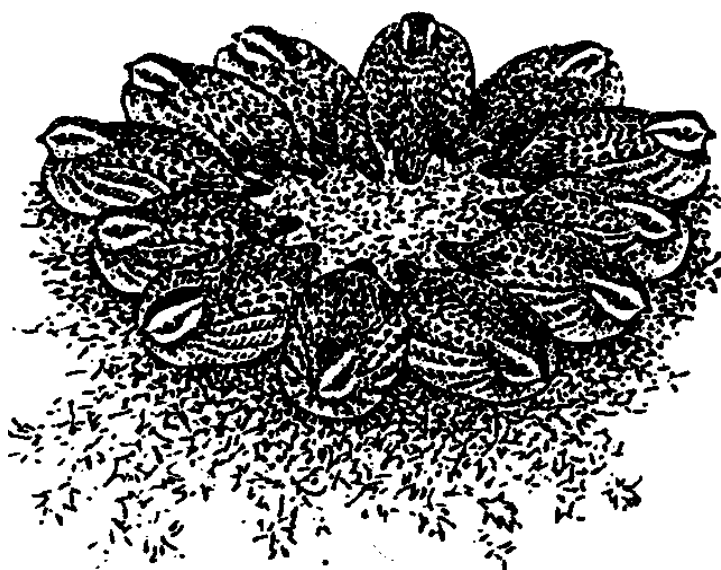


Рис. 10.5 Кольца перепелок (по П. Фарбу, 1971)

Для групповой охоты зимой возникают волчьи стаи. Им удастся стаей справиться с крупными копытными, на которых охота в одиночку часто безрезультатна. При групповой охоте волки обычно практикуют преследование с выходом на перехват жертвы, нагон жертвы на засаду или захват ее в кольцо, требующее согласованности и координации действий всех особей (рис. 10.6).



Рис. 10.6. Охота волков на северных оленей
(по Н. М. Черновой и др., 1995)

В стаях млекопитающих значительна роль вожаков и специфичны отношения между отдельными особями, что сближает данные групповые образования со стадами.

Стада — более длительные и постоянные объединения животных по сравнению со стаями. Здесь осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграции, размножение, воспитание молодняка и т. д. В основе группового поведения животных в стадах лежат взаимоотношения доминирования-подчинения, основанные на индивидуальных различиях между особями. Одним из вариантов организации стад являются группы с временными или относительно постоянными лидерами. Это особи, на которых концентрируется внимание других, а они, в свою очередь, своим поведением определяют направление перемещения, места кормления, реакцию на хищника и т. д. Деятельность лидера не направлена непосредственно на подчинение других особей. Лидером становится более опытный член стада. Стадо действует как единое целое, подражая лидеру. Так, стада северных оленей, как правило, ведут старые важенки. Они лучше других ориентируются при миграциях и нападении хищников, потому что периодически это им приходится делать в одиночку.

Выделяются объединения в крупных стадах, которые представляют семейные или возрастные группы с внутренними, более дружелюбными контактами, чем с членами других аналогичных групп. Независимо от общего лидерства во внутривидовых группировках могут складываться отношения администрирования-подчинения.

Наибольшей сложностью отличается поведенческая организация стад с вожаками и иерархическим соподчинением особей. В отличие от лидеров вожаки характеризуются поведением, направленным непосредственно на активное руководство стадом: специальными сигналами, угрозами и прямыми нападениями. Здесь нередко возникают разделения «прав» и «обязанностей» и более сложные формы общественного поведения, выгодные для группы в целом. В стаде ранг каждой особи определяется многими причинами: возрастом, физической силой, опытом и наследственными качествами животного. Как правило, над слабыми доминируют сильные и опытные, с устойчивым типом нервной системы. Это проявляется в праве на самку, преимуществе при поедании пищи, передвижении в группе и др.

Доминирование-подчинение весьма различно у разных видов. Главные из них — «линейная» иерархия типа «треугольника», деспотия. При *линейной* иерархии в ряду рангов А-В-С и т. д. особи, принадлежащие к каждому, подчинены предыдущим, но главенствуют над последующими. В таком ряду последние животные — самые бесправные в группе. Так, вожаки в стаях ездовых собак активно подчиняют себе всю стаю, угрожая и задавая трепку непослушным. Животные низшего ранга ведут себя покорно перед всеми остальными, подходят к пище в последнюю очередь. Они изгоняются с лучших мест отдыха, не подпускаются к самкам и т. д.

У некоторых животных иерархическое соподчинение осуществляется по типу «треугольника»: А нападает на В, В — на С, а С подчиняет себе А.

Данное соотношение может сохраняться в группе довольно долго. Следующим вариантом иерархии является *деспотия*, или доминирование одного животного над всеми остальными членами группы.

Ранг животного в группе определяется столкновениями между особями в виде прямой борьбы или ритуальных угроз. После установления ранга всех членов группы прямые столкновения между ними прекращаются и порядок поддерживается сигнальным или ритуальным поведением. Иерархически организованному стаду свойствен закономерный порядок перемещения, определенная организация при защите, расположении на местах отдыха и т. д. Например, когда начинают маячить хищники, самки слонов образуют круг вокруг детенышей, чтобы охранить их от нападающих (рис. 10.7).



Рис. 10.7. Самки слонов охраняют детенышей от хищников

В стаде павианов в наибольшей безопасности, в центре, находятся самки, готовящиеся к размножению или с детенышами, по краям — вожаки, молодые самцы и неразмножающиеся самки. Впереди и позади стада шествуют крупные самцы, готовые отразить нападение. Известны случаи, когда при преследовании хищниками стада самец-доминант возвращался за отставшим детенышем, хотя ему грозила большая опасность.

Биологический смысл иерархической системы доминирования-подчинения заключается в создании согласованного поведения группы, выгодного для всех ее членов. После «расстановки сил» животные не тратят лишней энергии на индивидуальные конфликты, а в целом группа получает преимущества, подчиняясь наиболее сильным и опытным индивидуумам. Это имеет большое значение для выращивания молодняка, обеспечения защиты от хищников, предупреждения от опасности, миграциях и т. д. Например, в сложных ситуациях (голодовках и др.) гибнут большей частью слабые, подчиненные особи, но под защитой группы они имеют больше возможности выжить, чем в одиночку. Иерархия четко выражена не только в стадах у млекопитающих, но и в колониях у птиц, у ряда беспозвоночных: насекомых (сверчков, жуков-чернотелок и др.), некоторых ракообразных и пр.

Эффект группы. Многие виды животных, как уже отмечалось, нормально развиваются только тогда, когда объединяются в довольно большие группы. Например, бакланы (*Phalacrocorax bougainvillei*) могут существовать в колонии, которая насчитывает не менее 10000 особей и где на 1 м³ приходится не менее 3 гнезд. Жизнь в группе через нервную и гормональную системы отражается на протекании многих физиологических процессов в организме животного. Наблюдается тесное общение особей посредством запахов, звуков, специфики поведения. Благодаря сложной системе сигнализации у особей и их взаимному обмену информацией возрастает эффективность функционирования группы, направленная на удовлетворение важных жизненных потребностей всех ее членов. *Оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности при совместном существовании, и получила название «эффект группы».* Эффект группы проявляется как психофизиологическая реакция отдельной особи на присутствие других особей своего вида. Например, у овец вне стада учащаются пульс и дыхание. При виде приближающегося стада эти процессы нормализуются. Эффект группы проявляется в ускорении темпов роста животных, повышении плодовитости, более быстром образовании условных рефлексов, повышении средней продолжительности жизни индивидуума и др. Животные в группе обычно способны поддерживать оптимальную температуру, например, при окучивании, в гнездах, в ульях. Вне группы у многих я животных не реализуется плодовитость.

Не менее важным показателем эффекта группы служит *фазовая изменчивость*. Она была впервые обнаружена Б. П. Уваровым в 1921 г. у саранчовых, а позднее и у жесткокрылых, чешуекрылых и других насекомых. У саранчовых четко различают две формы: одиночная и стадная (рис. 10.8).

Главной причиной здесь является разная плотность особей в популяции. Большая скученность их и обуславливает образование стадной формы. Особи обеих форм отличаются окраской, поведением, скоростью развития, строения. Каждой форме свойственна определенная активность. Особи в стадной форме очень подвижны и тяготеют к миграциям. Это является средством регуляции численности саранчи в ее резервациях. Скученный образ жизни в нарастающем темпе приводит к сокращению яйцевых трубок. Отсюда, чем выше степень стадности, тем ниже плодовитость, т.е. плодовитость у стадных саранчовых обратно пропорциональна плотности популяции. Изолированные самки азиатской саранчи откладывают 1000—1200 яиц, а находящиеся в сильной скученности — только 300. Однако у последних масса отрождающихся личинок, их выживаемость и общая жизнеспособность значительно выше. Эффект группы и высшее ее проявление у саранчовых — фазовая изменчивость — функционально связаны с плотностью популяции и служат механизмом регуляции их численности. Взаимная стимуляция особей вызывает формирование стадной формы, которая характеризуется снижением плодовитости, сокращением смертности в ранних возрастах, увеличением скорости развития и повышением активности.

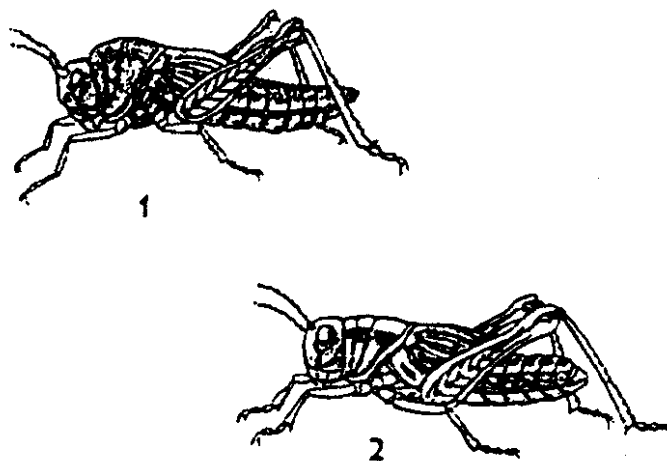


Рис. 10.8. Формы перелетной саранчи:
1 – одиночная; 2 - стадная

Вспышки численности грызунов прекращаются большей частью из-за таких эффектов скученности, как повышенная агрессивность вследствие усиленной секреции адреналина, вялости, связанная с понижением сахара в крови, чем из-за нехватки пищи или инфекций. Помет, секреты, продукты обмена веществ могут портить имеющиеся достаточные запасы питания. Высокая плотность иногда приводит к каннибализму даже у видов в норме чисто растительноядных, например, таких, как мучной хрущак. Таким образом, положительный эффект группы проявляется до некоторого оптимального уровня плотности популяции. Когда животных становится слишком много, это грозит для всех недостатком ресурсов Среды, вступают в действие другие механизмы, которые приводят к снижению численности особей в группе путем ее деления, рассредоточения или падения рождаемости. Эти механизмы в дальнейшем рассмотрим более подробно.

Агрессия, внутривидовой паразитизм и конкуренция. *Агрессия* — это форма связей, характеризующаяся истреблением особей своего вида. Среди внутривидовых связей довольно часто встречаются различные формы агрессии, когда истребление одних особей вида другими способствует поддержанию численности популяции, ее плотности на занимаемой территории и обеспечивает высокую жизнеспособность сохранившихся особей. В отдельных случаях агрессия представлена *каннибализмом*, или пожиранием особей своего вида. Так, у американской саламандры-скрытножаберника отложенную икру охраняет самец. Защищая ее от других, он сам питается ею для поддержания сил. Другая форма каннибализма у лососевых. Взрослые рыбы для икрометания заходят в реки и обычно поднимаются до самых верхних истоков. На мелководьях, в условиях хорошо аэрируемой воды, они выметывают икру и там же обессиленные погибают. Икрометание происходит поздно осенью и на мелководье, трупы рыб не уносятся потоком воды, а вмерзают в лед. Весной с таянием льда оттаивают и трупы рыб, начинается их разложение. К этому времени из икры обычно уже появляется молодь. Прожорливые мальки набрасываются на размягченные трупы рыб и поедают их. Это позволяет большинству мальков выживать и быстро расти в местах, где иной доступной

им пищи нет. В целом каннибализм широко распространен у рыб. У трески, налима, балхашского окуня взрослые рыбы поедают свою молодь. Аналогичное наблюдается и у насекомых. Каннибализм отмечен у муравьев, у хищных личинок некоторых комаров. Во всех приведенных случаях агрессия оказывается полезной виду, являя своеобразный пример «взаимопользных связей».

Таким же полезным можно оценить явление *внутривидового паразитирования*, которое встречается у некоторых животных. Оно может быть в виде эктопаразитизма (наружного паразитизма) и эндопаразитизма (внутреннего паразитизма).

Внутривидовой эктопаразитизм особенно четко выражен у глубоководной рыбы-удильщика. В качестве приспособления для обеспечения оплодотворения икры самка постоянно носит на себе самца. Карликовый самец (размер самца 1,5—2 см, самки — 9—10 см) еще в стадии молоди прикрепляется к самке: у одних видов — к особому отростку на жаберной крышке, у других — к брюшку или ко лбу (рис. 10.9).

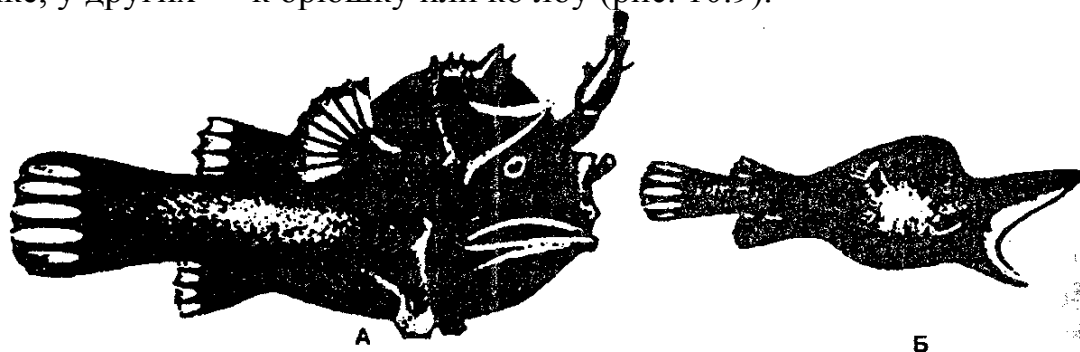


Рис. 10.9. Глубоководная рыба-удильщик:
а — самка; б — карликовый самец (по Н. М. Черновой и др., 1995)

Кожа самца в местах прикрепления срастается с кожей самки, как бы погружаясь в нее, происходит взаимопроникновение и некоторое срастание кровеносных сосудов обоих организмов. Становясь неотъемлемой частью самки, самец и передвигается за счет ее. При этом у самца кишечник недоразвит, зубы редуцированы, тогда как жабры, почки, сердце и половая система остаются достаточно развитыми.

Внутривидовой эндопаразитизм наблюдается, например, у бо-неллии — кольчатого червя, живущего в Средиземном море. Самец является внутренним паразитом самки, поселяясь у нее в канальцах нефридиев, по которым проходят выводимые наружу яйца. Еще на стадии личинок самец попадает в рот, а затем в пищевод и позднее через ткани достигает нефридиев, где и остается жить. Тот и другой случаи внутривидового паразитизма возникли в условиях бедности кормов, при очень низкой плотности популяции, как приспособление к восстановлению потомства, где встреча самцов и самок происходит довольно редко. Переход к паразитированию у этих видов обычно осуществляется во время личиночных стадий, когда только что выведшиеся мальки и личинки еще держатся одной общей стайкой. При сравнительно высокой плотности молодых

особей в таких условиях встречаемость самца и самки происходит часто. Этот и целый ряд других видовых особенностей позволяют виду обеспечить свое воспроизведение и длительное существование в борьбе с другими видами.

Внутривидовая конкуренция (за пищу, полового партнера, жизненное пространство, место для размножения и др.) увеличивается как с ростом плотности популяции, так и степени специализации вида. Чаще всего конкуренция начинается за пищу, когда в результате размножения при еще достаточном запасе пищи плотность популяции повышается. Недостаточное питание может приводить нередко к снижению плодовитости, пока уменьшение популяции не позволит виду снова размножиться.

У растений внутривидовая конкуренция нередко проявляется в виде «пассивной борьбы». Пассивная борьба приводит к появлению особых адаптивных черт в строении, обеспечивающих им выгодное размещение своих органов. Это особенно четко было продемонстрировано В. Н. Сукачевым (1945) в опытах при загущенных посевах. Было показано, что не только надземные части растений разместились на разной высоте, но и их корни распределились на разной глубине (рис. 10.10).

Дифференциация молодых особей наблюдается при загущенном посеве настурции. Среди одновременно появившихся ее всходов вскоре можно выделить три[^] более или менее отличные друг от Друга группы молодых растений. У одних наблюдается быстрый рост стебля, выносящий семядольные и первые зеленые листья вверх. У другой группы быстрый рост вверх осуществляется не за счет роста стебля, а при помощи быстрого роста черешков семядольных и первых зеленых листьев. У третьей группы не отмечается быстрого роста ни стеблевой части, ни черешков, но оказалась высокой скорость разворачивания листьев. К тому времени, когда растения первых двух групп имели, помимо семядольных, лишь два зеленых листа, у этих было развернуто четыре, а в одном случае даже шесть зеленых листьев с очень мелкими листовыми пластинками. Во время цветения взрослые растения внешне выглядят одинаково и практически ничем не напоминают того деления особей на три группы, которое наблюдается у проростков.

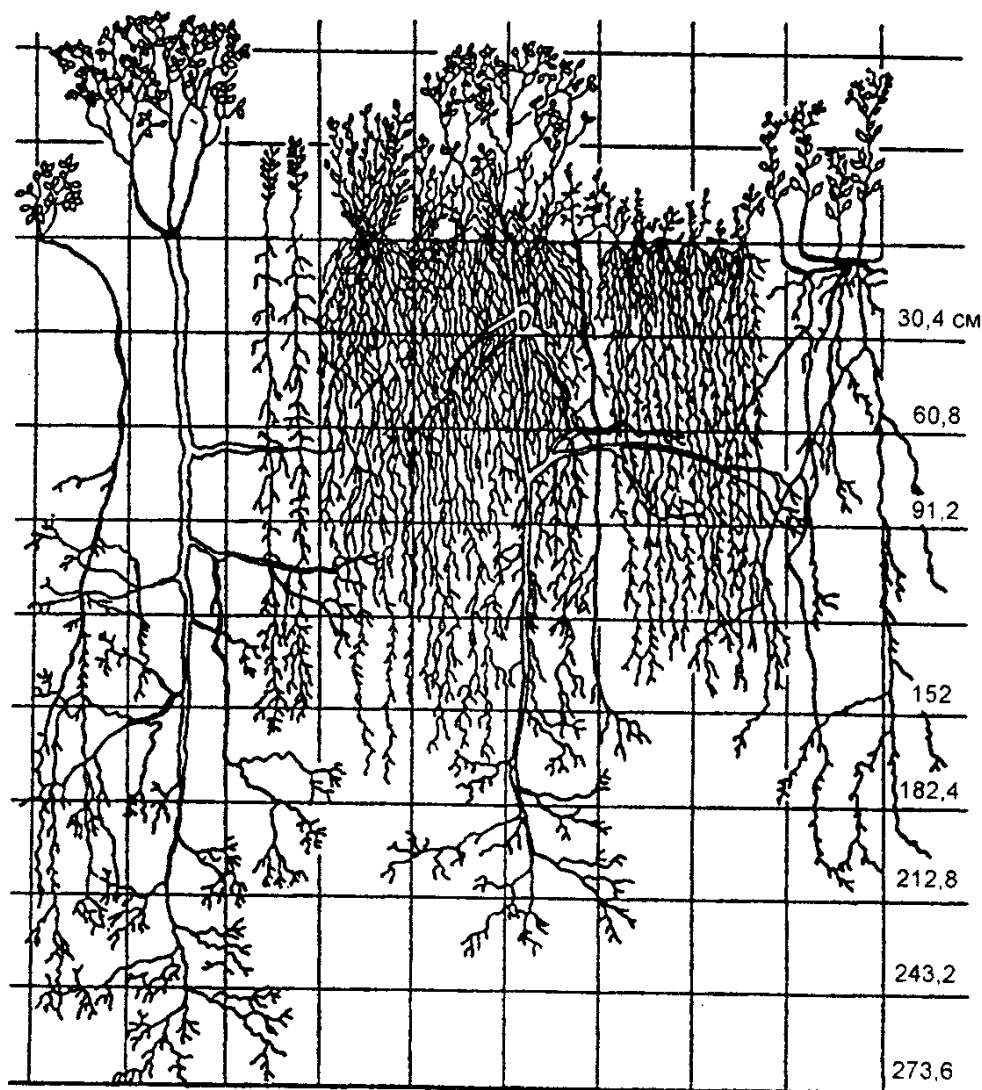


Рис. 10.10. Надземная и подземная ярусность в травянистых фитоценозах (по В. Г. Хржановскому и др., 1994)

Территориальность. Территориальное поведение встречается у широкого круга животных, в том числе у некоторых рыб, рептилий, птиц, млекопитающих и общественных насекомых. Это явление основано на врожденном стремлении особи к свободе передвижения на некоторой минимальной площади (рис. 10.11).

Первая ступень развития территориальности — *индивидуальное пространство*, окружающее каждую особь. Оно хорошо заметно, например, у ласточек, усевшихся на телефонный провод, или у скворцов в летящей стае. Особь защищает его от вторжения и открывает для другой особи только после церемоний ухаживания перед спариванием. Вторая ступень — обороняемое место для жизни, отдыха или сна в середине необороняемой *зоны активности* (у многих хищников охотничьего участка). Животные, стоящие на второй ступени, распределяются практически равномерно.

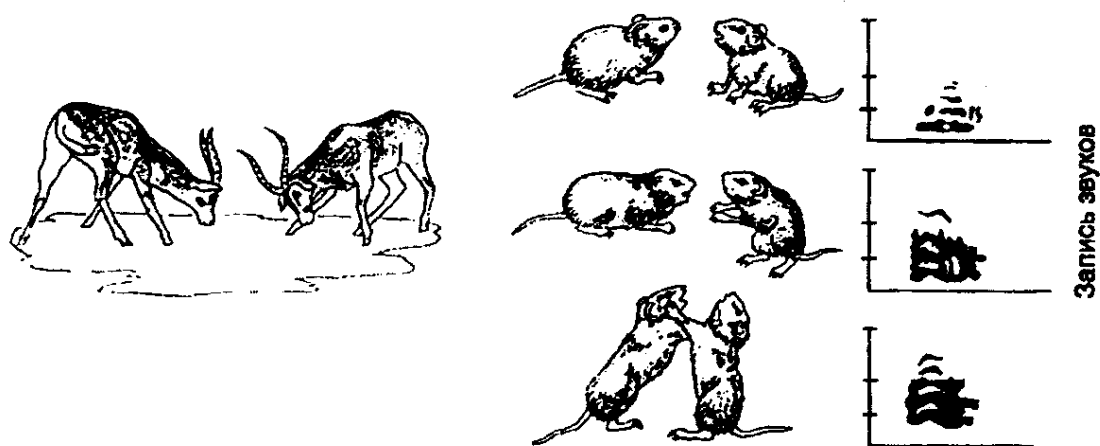


Рис. 10.11. Территориальное поведение животных
(по Н. М. Черновой и др., 1995)

Самое рациональное использование пространства отмечается на третьей ступени территориальности, где образуются *настоящие территории* — участки, из которых другие особи изгоняются. Владелец участка психологически господствует на нем, и для изгнания в большинстве случаев достаточно лишь демонстраций, угроз, преследования, самое большое — притворных атак, которые прекращаются на границах участка, помеченных зрительно, акустически или запахом (ольфакторно) рис. 10.12.



Рис. 10.12. Бурый медведь, маркирующий дерево
(по Н. М. Черновой и др., 1995)

У птиц, гнездящихся колониями, особь охраняет только свое гнездо, а вся колония и ее окрестности как целое обороняются всей популяцией.

10.2. Межвидовые взаимоотношения

Они могут быть безразличными, вредными или полезными для партнеров. При *нейтрализме* оба вида живут на одной территории, не вступая в отношения друг с другом, например, дятлы неподалеку от дроздов в буковом лесу или гидроидные полипы на раковине моллюска. Может существовать *конкуренция* за одинаковую пищу или жизненное пространство, например, между двумя видами воробьиных — славкой и соловьем.

При совместном содержании в культуре *Paramaecium caudatum* несколько быстрее вытесняется растущей популяцией *P. aurelia*, так как последняя выедает бактерий — пищу, необходимую и первому виду. Однако *P. aurelia*, питающаяся в поверхностной бактериальной пленке, не конкурирует с *P. bursaria*, поедающей микроорганизмы, которые опускаются на дно.

Мутуализм приносит выгоду обоим партнерам — при *симбиозе* жизненно важную, при *протокооперации* не очень значительную. Так, жвачные животные и микроорганизмы их рубца не могут существовать друг без друга, а гидра, напротив, может жить без водоросли хлореллы, как и та без нее.

Нередко польза и вред бывают односторонними. Для льва безразлично, поедают ли грифы и шакалы остатки его пищи (*комменсализм*); для жуков-навозников несущественно, что в полете они переносят нематод-копрофагов к новым навозным кучам — их субстрату. При *паразитизме* и *хищничестве* один из партнеров извлекает для себя пользу во вред другому. Эти два типа взаимоотношений, как уже было отмечено ранее, различаются тем, что в первом случае нападающий организм меньше своей жертвы, а во втором — крупнее. Репродуктивный потенциал, как правило, у паразита больше, чем у хозяина, а у хищника — меньше, чем у жертвы.

Взаимоотношения хищник — жертва. В среде, не имеющей укрытий для размножения, хищник рано или поздно уничтожает популяцию жертвы и после этого вымирает сам. В естественных условиях возникает следующая временная и причинно-следственная цепь: размножение жертвы → размножение хищника → резкое сокращение численности жертвы → падение численности хищника → размножение жертвы и т. д. Эта кибернетическая система с отрицательной обратной связью приводит к устойчивому равновесию. Волны флуктуаций хищника и жертвы следуют друг за другом с постоянным сдвигом по фазе, а в среднем численность как хищника, так и жертвы остается постоянной (рис. 10.13).

В. Вольтерра (1931), изучая отношения хищник — жертва, вывел следующие законы. 1. *Закон периодического цикла* — процесс уничтожения жертвы хищником нередко приводит к периодическим колебаниям численности популяций обоих видов, зависящим только от скорости роста популяций хищника и жертвы, и от исходного соотношения их численности. 2. *Закон сохранения средних величин* — средняя численность популяции для

каждого вида постоянна, независимо от начального уровня, при условии, что специфические скорости увеличения численности популяций, а также эффективность хищничества постоянны. 3. *Закон нарушения средних величин* — при сокращении популяций обоих видов пропорционально их численности, средняя численность популяции жертвы растет, а популяции хищников — падает.

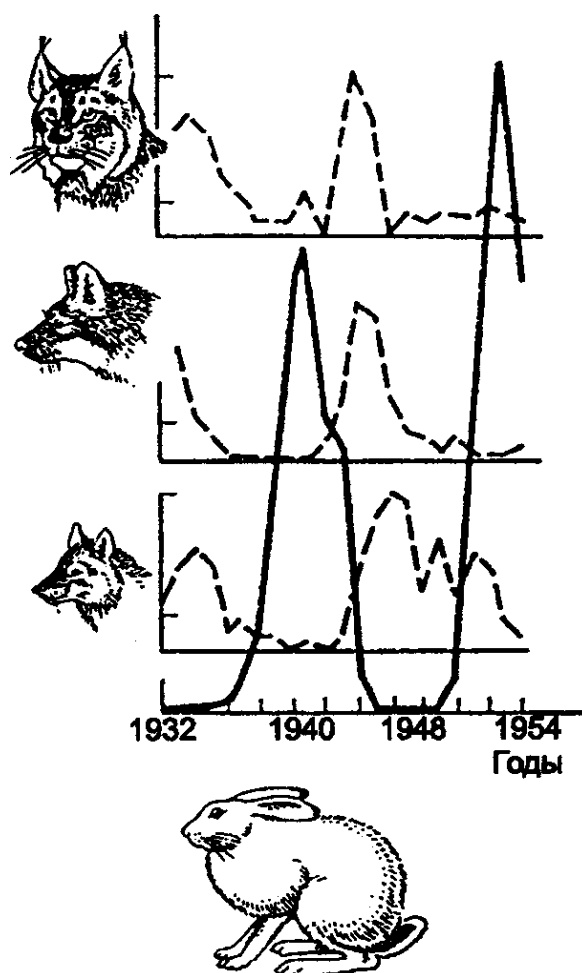


Рис. 10.13. Взаимоотношения между хищником и жертвой (по А. В. Яблокову, А. Г. Юсуфову, 1998)

Защита от врагов. Она может быть активной, например укусы, уколы, удары, включая электрические (у скатов и других рыб), выбрызгивание секретов и т. д., использование укрытий, а гораздо чаще пассивной, к которой относятся маскирующая (*миметическая*) внешность, предостерегающая внешность (так называемая мимикрия), маскирующее или предостерегающее поведение. У растений развиваются колючки, шипы, жгучие волоски, яды, горькие вещества.

Маскирующая внешность состоит в подражании несъедобным предметам (палочки и гусеницы пядениц имитируют сучки) или зрительном слиянии с окружающим фоном: зеленая окраска обитателей листвы (гусеницы, клопы, кузнечики и др.), коричневая у наземных обитателей (жаворонки, песочники,

самки уток). Приспособление к цвету и узору субстрата может осуществляться и путем физиологического изменения окраски тела (камбала, каракатицы, квакши, скаты) или перемены окраски при очередной линьке, например кузнечики.

Предостерегающая внешность может использоваться для отпугивания агрессора необычным рисунком, глазчатыми пятнами, появляющимися у многих бабочек, когда они раскрывают крылья, имитацией змеиной головы (имеется у многих гусениц) или животных, опасных для нападающего (отпугивающая внешность). Другое использование предостерегающей внешности — предупреждение яркими сигнальными цветами и бросающимся в глаза рисунком о реальных отрицательных для нападающего свойствах жертвы: горьком вкусе, несъедобности, ядовитости, умении кусать или жалить. В качестве примеров можно назвать таких, как божьи коровки, клопы-арлекины, пестрые гусеницы, осы. Следует отметить, что при этом приносится в жертву какая-то часть популяции, на которой агрессор усваивает горький опыт. Нередко безвредные организмы имитируют предупреждающую окраску опасных видов. Например, мухи-журчалки, бабочки-бразники, многие жуки-усачи подражают внешности ос. Эта мимикрия не что иное, как обман.

10.3. Колебания численности и гомеостаз популяций

В природе численность популяций испытывает колебания. В связи с размерами ареала популяций может значительно изменяться и численность особей в популяциях. Так, у насекомых и мелких растений открытых пространств численность особей в отдельных популяциях может достигать сотен тысяч и миллионов особей. Напротив, популяции животных и растений могут быть и сравнительно небольшими по численности. На одном из озер Помосковья численность популяции стрекоз *Leucorrhinia albifrons* достигала около 30 тыс. особей, численность популяций прыткой ящерицы *Lacerta agilis* — от нескольких сотен до нескольких тысяч особей, а численность популяций земляной улитки *Cerrea nemoralis* — лишь 1000 экземпляров.

В связи с тем что любая популяция обладает строго определенной генетической, фенотипической, половозрастной и другой структурой, она не может состоять из меньшего числа индивидов, чем необходимо для обеспечения стабильной реализации этой структуры и устойчивости популяции к факторам внешней среды (рис. 10.14).

В этом и состоит *принцип минимального размера популяций*. Минимальная численность популяций, обеспечивающая существование вида, является специфической для разных видов. Выход за пределы минимума грозит для популяции гибелью. Дальнейшее сокращение, например, тигра на Дальнем Востоке, неизбежно приведет к их автоматическому вымиранию из-за того, что оставшиеся единицы, не находя с достаточной частотой партнеров для размножения, вымрут на протяжении немногих поколений. В таком же положении могут оказаться и редкие растения, такие, как орхидея, «венерин

башмачок» и другие.

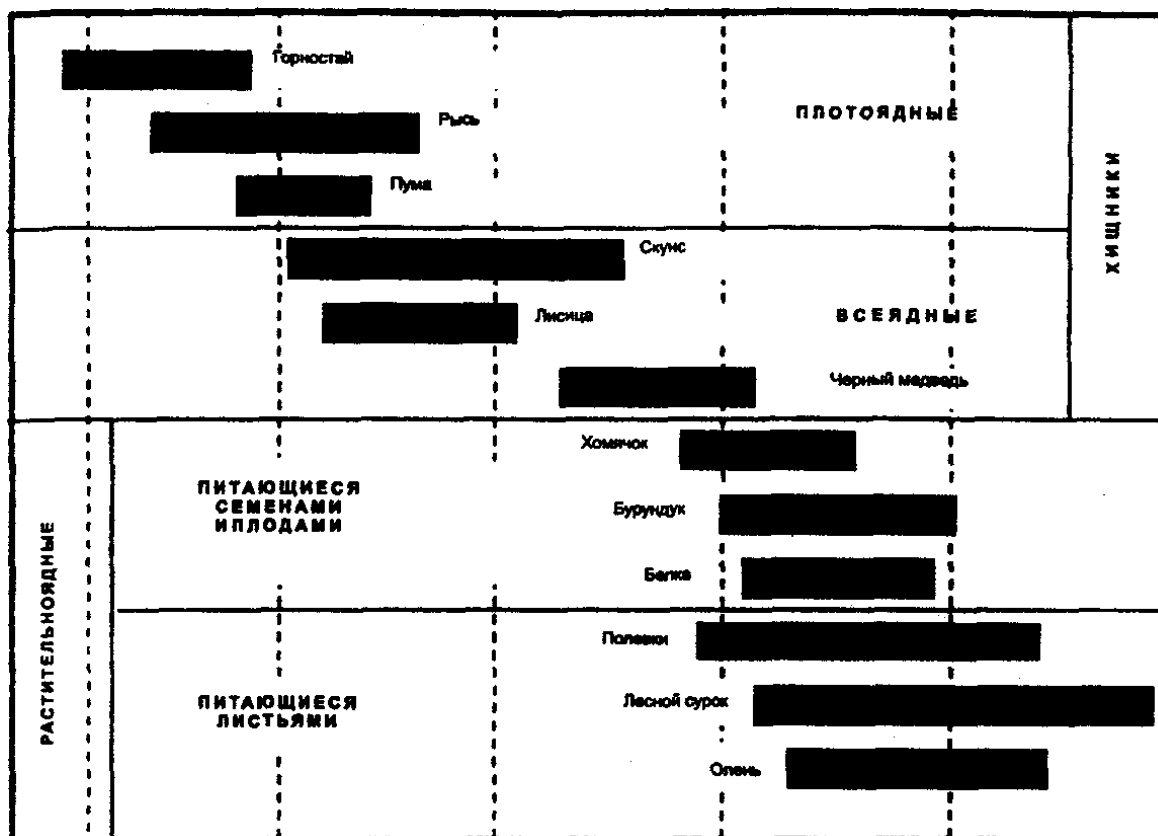


Рис. 10.14. Плотность популяций у разных видов млекопитающих (в килограммах биомассы на гектар)

Закономерно предположить, что если есть минимум размера популяций, то возможен и максимум. Такое предположение помимо логической посылки основывается на соотношении законов максимума биогенной энергии и давления среды. Ю. Одум (1975) формирует закон как *правило популяционного максимума*. Популяции эволюционируют так, что регуляция их плотности осуществляется на значительно более низкой по сравнению с верхней асимптотой* емкости местообитания, достигаемой лишь в том случае, если полностью используются ресурсы энергии и пространства. При росте плотности популяции снижается обеспеченность пищей. У многих животных от потребления пищи прямо зависит плодовитость: при увеличении плотности популяции плодовитость падает, и это предотвращает дальнейший рост численности (рис. 10.15).

Правило популяционного максимума конкретизирует два обобщения. Первое из них известно как *теория Х. Г. Андресварты — Л. К. Бирча (1954), или теория лимитов популяционной численности*: численность естественных

* Асимптота — прямая линия, к которой неограниченно близко стремятся точки некоторой кривой, по мере того как эти точки удаляются в бесконечность.

популяций ограничена истощением пищевых ресурсов и условий размножения, недоступностью этих ресурсов и слишком коротким периодом ускорения роста популяции. Второе обобщение дополняет первое и носит название *теории биоценотической регуляции численности популяции К. Фридерикса (1927)*: регуляция численности популяции есть результат комплекса воздействий абиотической и биотической среды в местообитании вида.

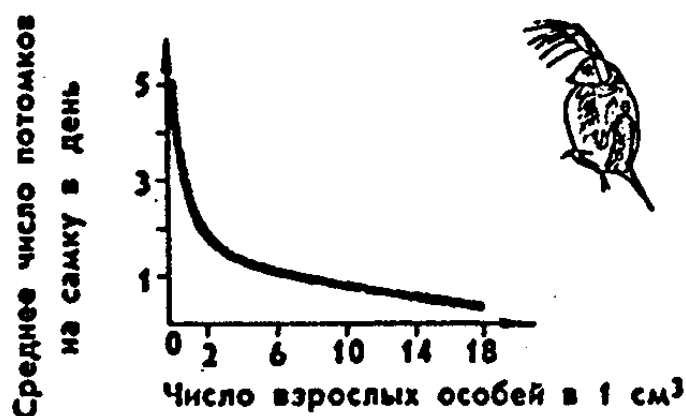


Рис. 10.15. Зависимость плодовитости у одного из видов дафний (по Ю. Одуму, 1975)

Совокупность всех факторов, способствующих увеличению численности популяции, называется *биотическим потенциалом*. Несмотря на то что у разных видов составляющие биотического потенциала неодинаковы, имеется общее свойство: у всех видов он достаточно высок для стремительного увеличения численности при благоприятных условиях среды. Рост популяции может быть столь быстрым, что может привести к *популяционному взрыву*. Однако следует отметить, что повышение плотности популяций сверх оптимальной оказывает на них неблагоприятное воздействие, так как при этом иссякает кормовая база, сокращается жизненное пространство, появляются эпизоотии и т. д. (рис. 10.16).

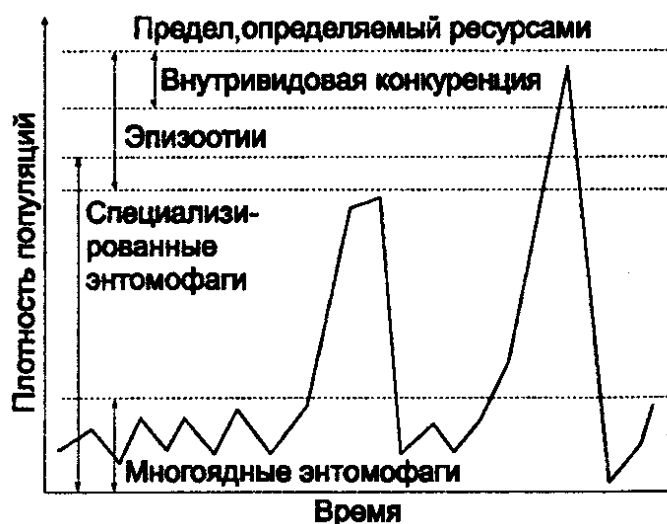


Рис. 10.16. Факторы, регулирующие численность насекомых при различной плотности популяции (по Г. А. Викторову, 1967)

Различают неперiodические, редко наблюдаемые, и периодические, постоянные, колебания численности естественных популяций. К *непериодическим* колебаниям численности, а следовательно, и плотности популяции среди наземных организмов, могут быть отнесены вспышки массового размножения непарного шелкопряда *Ocnia dispar* в 1879 г. в южной и юго-восточной частях России, златогузки *Euproctis chrysorrhoea*, непарного и кольчатого шелкопрядов в период с 1948 по 1969 г. на Русской равнине и т. д. Резкий подъем численности нередко наблюдается у популяций, оказавшихся в новом местообитании. Примером этому может служить массовое размножение кроликов в Австралии, колорадского картофельного жука в Европе.

Периодические колебания численности популяций совершаются обычно в течение одного сезона или нескольких лет. Циклические изменения с подъемом численности в среднем через четыре года зарегистрированы у животных, обитающих в тундре, — леммингов, полярной совы, песца. Сезонные колебания численности характерны и для многих насекомых, мышевидных грызунов, птиц, мелких водных организмов.

В естественных условиях вероятность того, что все условия окажутся благоприятными для популяции, очень низка. Как правило, один или несколько абиотических (неоптимальная температура, кислотность, соленость, влажность) и биотических (присутствие хищников, паразитов, болезнетворных организмов, нехватка пищи) факторов становятся *лимитирующими*. Сочетание данных лимитирующих (ограничивающих) факторов называют *сопротивлением среды* (рис. 10.17).

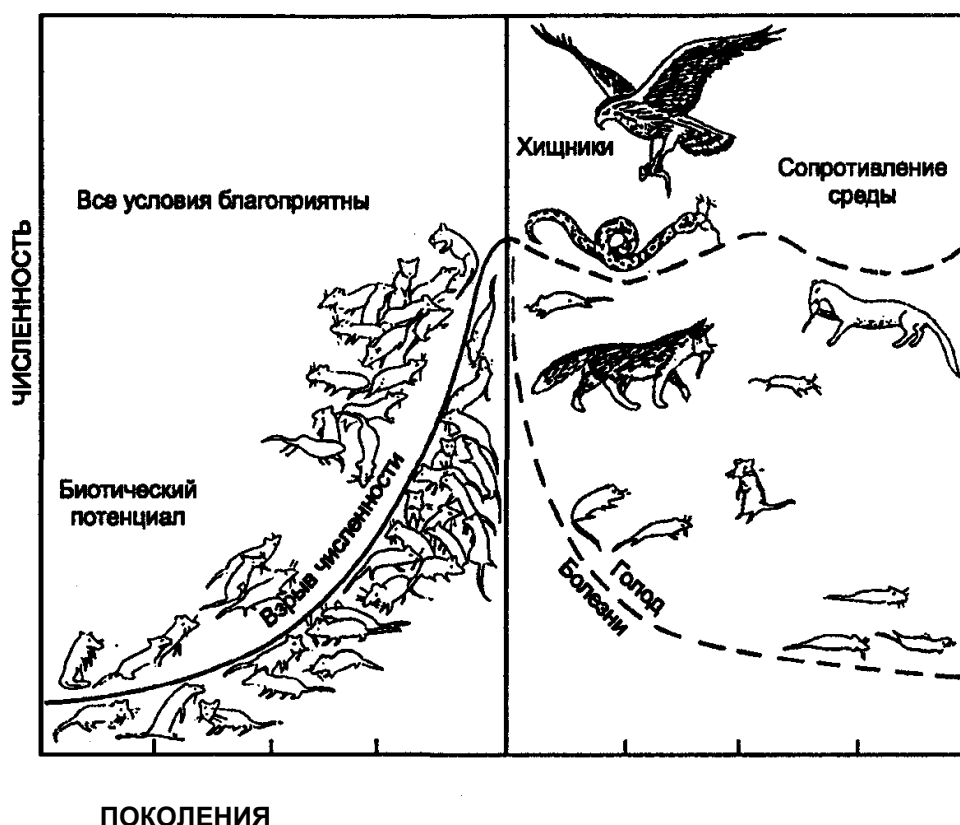


Рис. 10.17. Сопротивление среды (по Б. Небелу, 1993)

Сопротивление среды сильнее всего действует на молодых особей, больше других страдающих от нападения хищников, болезней, недостатка воды и пищи или других неблагоприятных условий.

Поддержание определенной численности или равновесное состояние получило название *гомеостаза популяций*. Рост, снижение или постоянство численности популяций зависит от соотношения между биотическим потенциалом (прибавлением особей) и сопротивлением среды (гибелью особей).

Отсюда *принцип изменения популяций* можно сформулировать следующим образом: *изменение популяции какого-либо вида — это результат нарушения равновесия между ее биотическим потенциалом и сопротивлением окружающей среды*. Данное равновесие называют *динамическим*, или непрерывно регулирующимся, так как факторы сопротивления среды редко остаются неизменными в течение длительного времени. В какой-то год популяция может значительно снизить свою численность из-за засухи, а в последующие годы с нормальным увлажнением полностью восстановить ее. Подобные циклические колебания обычно продолжаются неопределенно долго. Это объясняет обобщающее *правило максимума размера колебаний плотности популяционного населения*. «Существуют определенные верхние и нижние пределы для средних размеров популяции, которые соблюдаются в природе или которые теоретически могли бы существовать в течение сколь угодно длительного отрезка времени». Ю. Одум (1975) справедливо делает замечание, что может быть 100 птиц на 1 га и 20 000 почвенных членистоногих на 1 м², но

никогда не бывает 20 000 птиц на 1 м² и 100 членистоногих на 1 га. Правило максимума размера колебаний плотности популяционного населения можно назвать *законом количественной константности популяционного населения*. Данная закономерность указывает на среднесистемное число особей популяции на единицу площади. Отклонение от этого закона, или правила, свидетельствует о неблагополучной ситуации в регионе, является биоиндикатором разлада в его экосистемах. Отсутствие или подавление численности какого-то вида в силу биотических и абиотических взаимосвязей определенно повлечет за собой цепь последствий, результаты которых следует предвидеть.

10.4. Экологические стратегии популяций

Приспособления особей в популяции в конечном счете направлены на повышение вероятности выживания и оставление потомства. Среди приспособлений выделяется комплекс, называемый экологической стратегией. *Экологическая стратегия популяции — это ее общая характеристика роста и размножения*. Сюда входят темпы роста ее особей, время достижения половозрелости, плодовитость, периодичность размножения и т. д.

Экологические стратегии популяций отличаются большим разнообразием. Так, при изложении материала роста популяций и кривых роста были использованы символы r и K . Быстроразмножающиеся виды имеют высокое значение r и называются r -видами. Это, как правило, пионерные (нередко их называют «оппортунистическими») виды нарушенных местообитаний. Данные местообитания называют r -отбирающими, так как они благоприятствуют росту численности r -видов.

Виды с относительно низким значением r называют K -видами. Скорость их размножения чувствительна к плотности популяции и остается близкой к уровню равновесия, определяемому величиной K . Об этих двух типах видов говорят, что они используют соответственно r -стратегию и K -стратегию.

Эти две стратегии, по существу, представляют два различных решения одной задачи — длительного выживания вида. Виды с r -стратегией быстрее заселяют нарушенные местообитания (обнаженная горная порода, лесные вырубки, выгоревшие участки и т. д.), чем виды с K -стратегией, т. к. они легче распространяются и быстрее размножаются. Виды с K -стратегией более конкурентоспособны, и обычно они вытесняют r -виды, которые тем временем перемещаются в другие нарушенные местообитания. Высокий репродуктивный потенциал r -видов свидетельствует, что, оставшись в каком-либо местообитании, они быстро использовали бы доступные ресурсы и превысили поддерживающую емкость среды, а затем популяция погибла бы. Виды с r -стратегией занимают данное местообитание в течение жизни одного или, самое большее, нескольких поколений. В дальнейшем они переселяются на новое место. Отдельные популяции могут регулярно вымирать, но вид при этом перемещается и выживает. В целом эту стратегию можно охарактеризовать как стратегию «борьбы и бегства».

Следует отметить, что одну и ту же среду обитания разные популяции могут использовать по-разному, поэтому в одном и том же местообитании могут сосуществовать виды с *r*- и *K*-стратегией. Между этими крайними стратегиями существуют переходы. Ни один из видов не подвержен только *r*-или только *K*-отбору. В целом же *r*- и *K*-стратегии объясняют связь между разнокачественными характеристиками популяции и условиями среды.

11. БИОЦЕНОЗЫ

11.1. Понятие о биоценозе

Многообразные живые организмы встречаются на Земле не в любом сочетании, а в процессе совместного существования образуют биологические единства *сообщества*, или *биоценозы*.

Термином «биоценоз» (от лат. *биос* — жизнь, *ценоз* — общий) был предложен К. Мебиусом в 1877 г., когда он изучал устричные банки и приуроченные к ним организмы. По его определению, биоценоз — это «объединение живых организмов, соответствующее по своему составу, числу видов и особей некоторым средним уровням среды, объединение, в котором организмы связаны взаимной зависимостью и сохраняются благодаря



К. Мебиус

постоянному размножению в определенных местах». Со времен Мебиуса (1825—1908) в термин «биоценоз» нередко вкладывают другое содержание. Получило широкое распространение следующее определение: *биоценоз—это совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию, отличающуюся от других соседних территорий по химическому составу почв, вод, а также по ряду физических показателей (высота над уровнем моря, величина солнечного облучения и т. д.)*. В состав биоценоза, таким образом, входят такие компоненты, как *растительный*. Он представлен тем или

иным растительным сообществом — *фитоценозом*; животный

компонент — *зооценоз*; *микроорганизмы*. Они образуют в почве, в водной или воздушной среде микробные биоконплексы — *микробиоценозы*. Конкретные сообщества складываются в строго определенных условиях окружающей среды (почва и грунтовые воды, климат, осадки). Взаимодействуя с компонентами биоценоза (растениями, микроорганизмами и др.), почва и грунтовые воды образуют *эдафотоп*, а атмосфера — *кли-матоп*. Компоненты, относящиеся к неживой природе, образуют косное единство — *экотоп*. Относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом, называют *биотопом*.

Приспособленность членов биоценоза к совместной жизни выражается в определенном сходстве требований к важнейшим абиотическим условиям среды и закономерных отношениях друг с другом (рис. 11.1).

Биоценоз и биотоп оказывают друг на друга взаимное влияние, выражающееся главным образом в непрерывном обмене энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них. Масштаб биоценотических группировок организмов весьма различен, от сообществ, например, подушек лишайников на стволах деревьев или разлагающегося пня до населения ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т. д. По отношению к мелким сообществам (стволы или листва деревьев, моховые кочки на болотах, муравейники и др.) применяют такие термины, как «микросообщества», «биоценотические группировки», «биоценотические комплексы» и т. д.

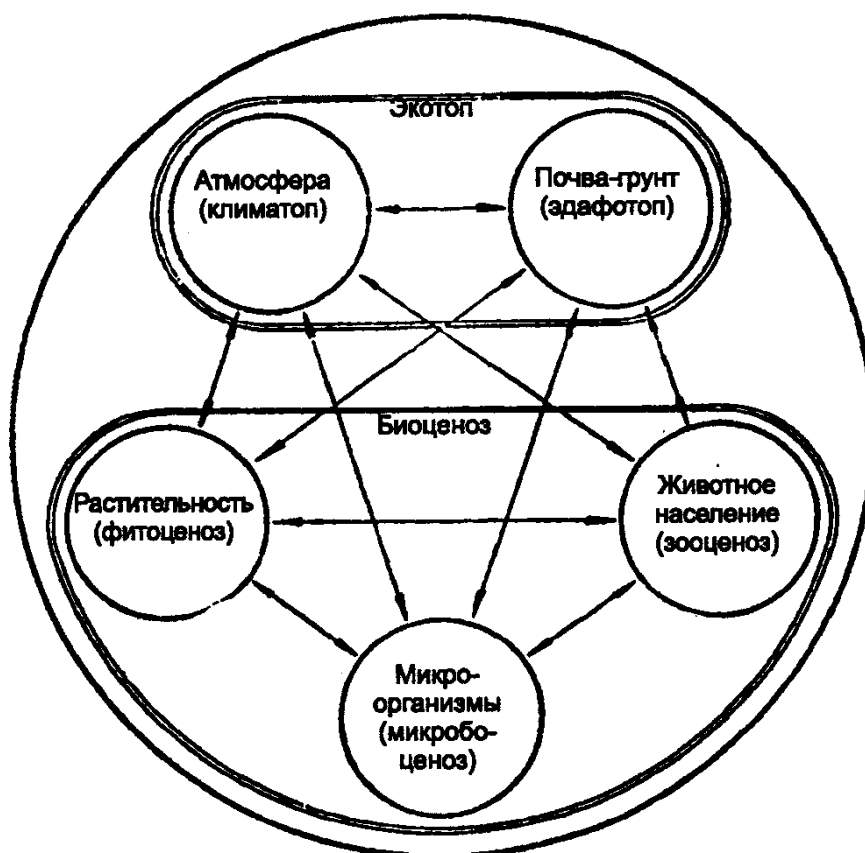


Рис. 11.1. Структура биоценоза и схема взаимодействия

между его компонентами (по В. Н. Сукачеву, 1940)

Между биоценотическими группировками разных масштабов принципиальной разницы нет. Мелкие сообщества входят составной, нередко автономной, частью в более крупные, которые, в свою очередь, являются частями сообществ еще больших масштабов. Например, все живое население лишайниковых и моховых подушек на стволе дерева является частью более крупного сообщества организмов, связанного с этим деревом и включающего подкоровых и наствольных его обитателей, население кроны, ризосферы и т. д. Вместе с тем данная группировка лишь одна из составных частей лесного биоценоза, входящего в более сложные комплексы, которые образуют в итоге весь живой покров Земли. Следовательно, организация жизни на биоценотическом уровне иерархична. Увеличение масштабов сообществ усиливает их сложность и долю непрямых, косвенных связей между видами.

Естественные объединения живых существ имеют собственные законы сложения, функционирования и развития. Важнейшими особенностями систем, относящихся к надорганизменному уровню организации жизни, по В. Тишлеру (1971), являются следующие.

1. Сообщества всегда возникают, складываются из готовых частей (представителей различных видов или целых комплексов видов), имеющих в окружающей среде. Способ их возникновения этим отличается от формирования отдельного организма, особи, которое происходит путем постепенного дифференцирования зачатков.

2. Части сообщества заменяемы. Один вид или комплекс видов может занять место другого со сходными экологическими требованиями, без ущерба для всей системы. Части (органы) же любого организма уникальны.

3. Сообщества существуют главным образом за счет уравнивания противоположно направленных сил. Интересы многих видов в биоценозе прямо противоположны. Так, хищники — антагонисты своих жертв, и тем не менее они существуют вместе, в рамках единого сообщества.

4. Сообщества основаны на количественной регуляции численности одних видов другими.

5. Предельные размеры организма ограничены его внутренней, наследственной программой. Размеры надорганизменных систем определяются внешними причинами.

6. Сообщества часто имеют расплывчатые границы, иногда неуловимо переходя одно в другое. Однако они вполне объективно, реально существуют в природе.

Та часть экологии, которая изучает закономерности сложения сообществ и совместной жизни в них организмов, получила название *синэкологии*. Синэкология как раздел экологии возникла сравнительно недавно — в начале XX в. Термин предложен швейцарским ботаником К. Шретером в 1902 г. Формальное выделение синэкологии произошло на международном ботаническом конгрессе в 1910 г.

11.2. Видовая структура биоценоза



Альфред Рассел Уоллес

Структура любой системы — это закономерности в соотношении и связях ее частей. Под *видовой структурой* биоценоза понимают разнообразие в нем видов и соотношение их численности или массы. Каждый конкретный биоценоз характеризуется строго определенным видовым составом. Везде, где условия абиотической среды приближаются к оптимальным для жизни, возникают богатые видами сообщества, например тропические леса, коралловые рифы, долины рек в аридных районах и др. Увеличение видового разнообразия по мере продвижения с севера на юг было сформулировано А. Уоллесом в 1859 г. и получило название *правило Уоллеса*. Оно касается как видов, так и составляющих ими сообществ. Видовой состав биоценозов зависит как от длительности их существования, так и истории каждого биоценоза.

Молодые, формирующиеся сообщества, как правило, имеют меньший набор видов, чем давно сложившиеся, зрелые. Биоценозы, созданные человеком (огороды, сады, поля и т. д.), обычно беднее видами по сравнению со сходными с ними природными системами (лесными, луговыми, степными). Однако даже самые обедненные биоценозы включают несколько десятков видов организмов, которые принадлежат к разным систематическим и экологическим группам. При этом одни виды биоценоза могут быть представлены многочисленными популяциями, а другие малочисленными. Отсюда следует, что в любом биоценозе можно выделить один или несколько видов, определяющих его облик. Так, облик лесного или степного биоценоза представлен одним либо несколькими видами растений. В бору — сосна, ель; в ковыльно-типчаковой степи — ковыль и типчак. Для оценки количественного соотношения видов в биоценозах в экологической литературе используют *индекс разнообразия*, вычисляемый по формуле Шеннона:

$$H = \sum p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (11.1)$$

где Σ — знак суммы,

p_i — доля каждого вида в сообществе (по численности или массе),

$\log_2 p_i$ — двоичный логарифм p_i .

Для оценки роли отдельного вида в видовой структуре биоценоза используют разные показатели, основанные на количественном учете. *Обилие вида* — это число особей данного вида на единицу площади или объема занимаемого пространства. Например, число птиц, гнездящихся на 1 км² степного участка, или число мелких ракообразных в 1 дм³ воды в водоеме и т. д. Для расчета обилия вида вместо числа особей иногда используют значение их общей биомассы. Обилие вида как показатель изменяется во времени

(сезонные, годовые и случайные колебания численности) и в пространстве (от одного биоценоза к другому). Точно определить обилие видов бывает не всегда легко. В связи с этим на практике нередко ограничиваются применением менее точной балльной оценки, выделяя пять степеней обилия: 0 — отсутствие; 1 — редко и рассеянно; 2 — нередко; 3 — обильно; 4 — очень обильно.

Частота встречаемости характеризует равномерность или неравномерность распределения вида в биоценозе. Рассчитывается как процентное отношение числа проб и учетных площадок, где встречается вид, к общему числу таких проб или площадок. Можно высчитать частоту для одной выборки и для всех выборок данного биоценоза и на этой основе построить гистограмму частот.

Постоянство. Представляет собой следующее отношение, выраженное в процентах:

$$C = \frac{p \cdot 100}{P} \quad (11.2)$$

где p — число выборок, содержащих изучаемый вид,
 P — общее число взятых выборок.

В зависимости от значения C есть следующие категории видов:

постоянные виды встречаются более чем в 50% выборок;

добавочные виды встречаются в 25—50% выборок;

случайные виды встречаются менее чем в 25% выборок.

Численность и встречаемость вида не связаны прямой зависимостью. Вид может быть малочисленным, но встречаемость довольно высокая, или многочисленным, но с низкой встречаемостью. В лесу, который состоит из десятков видов растений, обычно один или два из них дают до 90% древесины. Данные виды называют *доминирующими и доминантными*. Они занимают ведущее, господствующее положение в биоценозе. Наземные биоценозы, как правило, носят название по доминирующим видам: березовый лес, ковыльно-типчаковая степь, сфагновое болото.

Степень доминирования — это показатель, который отражает отношение числа особей данного вида к числу особей всех видов рассматриваемой группировки. Так, если из 200 птиц, зарегистрированных на данной территории, 100 составляют зяблики, степень доминирования этого вида среди птиц составит 50%.

Во всех биоценозах численно преобладают мелкие формы — бактерии и другие микроорганизмы. При сравнении разноразмерных видов показатель доминирования по численности не может отразить особенности сообщества. Его рассчитывают не для сообщества в целом, а для отдельных группировок, в пределах которых разницей в размерах можно пренебречь.

Виды, живущие за счет доминантов, получили название *предоми-нантов*. К примеру, в сосновом лесу таковыми являются кормящиеся на сосне насекомые, белки, мышевидные грызуны.

Однако не все доминантные виды одинаково влияют на биоценоз. В биоценозе есть и так называемые *эдификаторы* — виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду для всего

сообщества и без которых в связи с этим существование большинства других видов невозможно. Это строители сообщества. Удаление вида-эдификатора из биоценоза влечет за собой изменение физической среды, в первую очередь микроклимата биотопа. Эдификаторами наземных биоценозов выступают определенные виды растений: в березовых лесах — береза, в сосновых — сосна, в степях — злаковые растения (ковыль, типчак и т. д.). Ель в таежной зоне образует густые, сильно затененные леса. Под ее пологом могут обитать только растения, которые приспособлены к условиям сильного затенения, повышенной влажности воздуха, кислых оподзоленных почв. В соответствии с этим в еловых лесах формируется и специфичное население животных. В данном случае ель выступает в роли мощного эдификатора, обуславливающего определенный биоценоз.

В сосновых лесах эдификатором является сосна. Однако по сравнению с елью сосна более слабый эдификатор, так как сосновый лес сравнительно светлый и редкоствольный. Видовой состав растений и животных здесь значительно богаче и разнообразнее, чем в еловом лесу.

Виды-эдификаторы встречаются практически в любом биоценозе. В некоторых случаях эдификаторами являются и животные. На территориях, занятых колониями сурков, именно их роющая деятельность определяет большей частью характер ландшафта, микроклимат и условия произрастания растений.

В состав биоценоза кроме относительно небольшого числа видов-доминантов входит, как правило, значительное количество малочисленных и даже редких форм. Между численностью видов-доминантов и общим видовым составом сообщества имеется определенная связь. Со снижением числа видов обычно обилие отдельных форм резко повышается, ослабевают биоценотические связи, наиболее конкурентоспособные виды получают возможность беспрепятственно размножаться. Чем специфичнее условия среды, тем беднее видовой состав сообщества и выше численность отдельных видов.

Таким образом, все виды, слагающие биоценоз, в определенной степени связаны с доминирующими видами и эдификаторами. Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений-эдификаторов или от других элементов биоценоза, создаются своеобразные структурные единицы биоценоза — консорции. Впервые термин «консорция» был введен Л.Г.Раменским(1952).

Консорция — это совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически связана с центральным видом —автотрофным растением. В роли центрального вида обычно выступает эдификатор — основной вид, который определяет особенности биоценоза. Популяции остальных видов консорции образуют ее ядро, за счет которого существуют виды, разрушающие органическое вещество, создаваемое автотрофами. Популяции автотрофного растения, например березы, на базе которого формируется консорция, называют *детерминантом*, а виды, объединенные вокруг него, — *консортами*

(рис. 11.2).

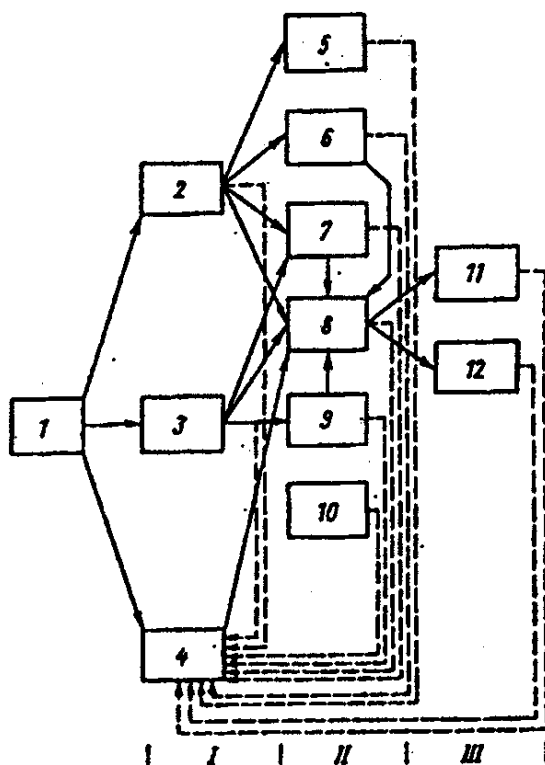


Рис. 11.2. Схема консорции в лиственном лесу:

1 — береза (детерминант); 2 — березовая пяденица; 3 — хохлатка-верблюдка; 4 — сапрофиты; 5 — вирусы; 6 — наездники; 7 — проволочники; 8 — насекомоядные птицы; 9 — тахины; 10 — бациллы; 11 — паразитические насекомые; 12 — хищные птицы; I, II, III — концентры (по П. М. Рафесу, 1974)

Среди консортов имеются виды, которые получают от детерминанта питание и энергию или связаны с ним трофически (пищевыми связями), и есть виды, связанные топически (находящиеся на нем жилище и укрытие), т. е. располагающиеся на нем. Так, различные фитофаги (листоеды, поедающие древесину, плоды или пьющие соки) связаны с детерминантом трофически, в то время как эпифиты, хищники (насекомые, птицы) связаны топически. Нередко виды связаны с детерминантом трофически и топически, т. е. питающиеся их веществами и на нем же строящие свое жилье. Многие кон-сорты одновременно и сами являются детерминантами кон-

сорций. Так, белка, будучи консортом ели, имеет свою консор-цию из хищников (куница), паразитов, располагающихся на ее теле или в ее гнезде, и организмов, питающихся ее выделениями и пометом. Входя в консорцию, белка вносит в нее и свою свиту, своих консортов. В связи в этом все виды консорции делят на консортов I порядка, консортов II порядка и т. д. Консортами I порядка являются виды, связанные непосредственно с детерминантом, а виды, идущие в так называемой свите консортов I порядка, составляют группу консортов II порядка. Группы консортов того или иного порядка, объединенные вокруг детерминанта, названы В.В. Мазингом (1966) *концентрами* (рис. 11.3).

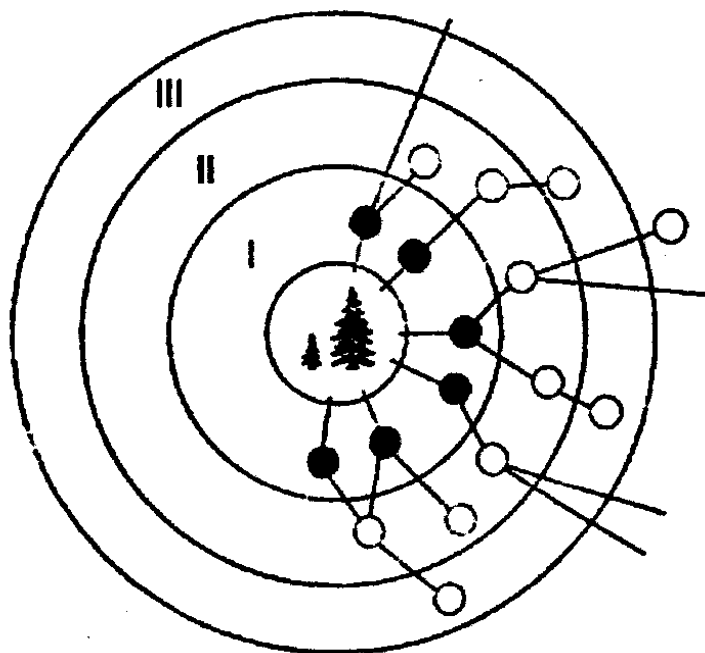


Рис. 11.3. Схема строения консорции:



— центральный вид (детерминант консорции); I, II, III — концентры ●○ — консорты, среди них: I — фитофаги, эпифиты, симбионты; II, III — зоофаги (по В. В. Мазину, 1966)

Каждая консорция, как видим, охватывает большое количество видов. Число их велико еще и потому, что детерминанты представлены в биоценозах (экосистемах) разновозрастным составом. Часто каждой возрастной стадии организмов сопутствует свое консортив-ное население. Так, стволовые вредители поражают большей частью взрослые ели, а в то же время ржавчинные грибы больше поражают молодые экземпляры. С возрастом ели меняется состав ее консортов, питающихся корневыми выделениями.

Среди консортов имеются виды, входящие в состав только одной консорции, а есть и такие, что являются членами двух или более консорции, тем самым способствуя объединению организмов биоценоза в единый комплекс. Связи в консорции могут быть длительные, т. е. на протяжении всей жизни консортов: здесь они размножаются, выводят потомство (жуки-короеды, усачи), растут, развиваются (грибы-паразиты, например трутовик на березе) или же связи носят сезонный характер (клест-еловик, хвоееды и т. д.).

Состав консорции — результат длительного процесса подбора видов, способных существовать в условиях местообитания детерминанта. Каждая консорция представляет собой особую структурную единицу биоценоза, экосистемы.

11.3. Пространственная структура биоценоза

Пространственная структура биоценоза определяется прежде всего

сложением его растительной части — фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений. Заселение организмами того или иного биотопа определяется его экологическими факторами, и в первую очередь особенностями атмосферы, горной породы, почвы и ее вод. В ходе длительного эволюционного развития, приспосабливаясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы так разместились в биоценозе, что практически не мешают друг другу, их распределение носит ярусный характер.

Ярусность — это вертикальное расслоение биоценозов на равновысокие структурные части. Особенно четко она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Фитоценоз приобретает ярусный характер при наличии в нем растений, которые различаются по высоте. Растения, особенно их органы питания (листья, окончания корней), располагаясь на разной высоте или глубине, легко уживаются в сообществе, что — способствует увеличению числа организмов на единицу площади, ослаблению конкуренции между ними, более полному и разностороннему использованию условий среды. В лесу обычно выделяется пять—шесть ярусов (рис. 11.4).

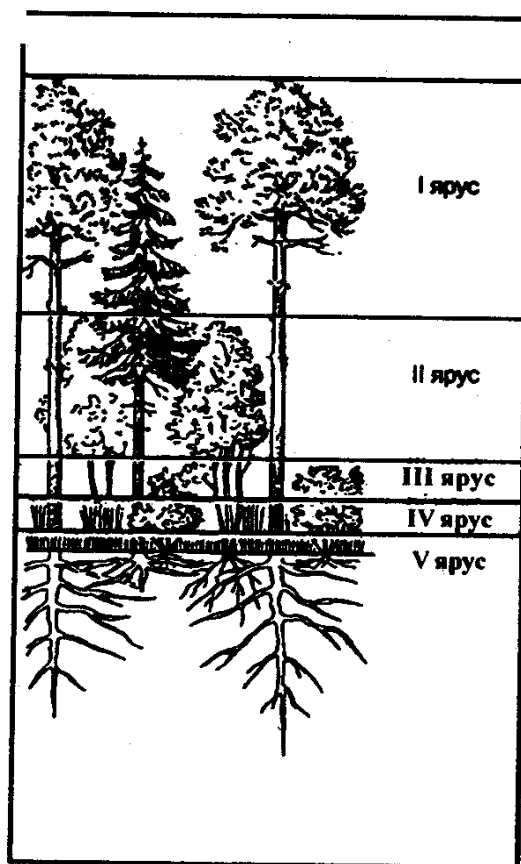


Рис. 11.4. Ярусность в лесу:

I - большие деревья (береза, ель, сосна, дуб, осина); II — малые деревья (рябина, черемуха); III — кустарники (лещина, бересклет, шиповник); IV — травы и кустарники (багульник, голубика, вереск, иван-чай, клюква, кисличка и др.); V — мхи и лишайники ды. (по Д. И. Трайтаку и др., 1987)

Ярусность выражена и в травянистых сообществах, но менее отчетливо и здесь меньше ярусов, чем в лесах (рис. 11.5).



Рис. 11.5. Ярусность растительности луговой степи
(по В. В. Алехину, А. А. Уранову, 1933)

Подземные части растений также располагаются ярусно. Как правило, корни у деревьев проникают на большую глубину, чем у кустарников. Ближе к поверхности располагаются корни мелких травянистых растений, а непосредственно на ней — ризомы мхов. В поверхностных слоях корней значительно больше, чем в глубинных. Ярусы определяют структуру и сложение фитоценоза. При малой ярусности растительное сообщество называют простым, большой — сложным. Растения каждого яруса и обусловленный ими микроклимат создают определенную среду для специфических животных, что приводит к возникновению группировок растений и животных — популяций, тесно связанных между собой организмов.

Отсюда ярусы в биоценозе различаются не только высотой, но и составом организмов, их экологией и той ролью, которую они играют в жизни всего сообщества. В одном сообществе одни и те же виды в силу возрастных различий особей или частичного угнетения могут находиться в определенный период в разных ярусах. Например, всходы сосны, березы, пока они маленькие, располагаются в нижних ярусах леса. По мере роста при благоприятных условиях они займут свое место в верхнем ярусе.

В растительных сообществах животные также приурочены преимущественно к определенному ярусу. Среди насекомых, например, выделяются следующие группы: обитатели почвы — *геобий*, наземного поверхностного слоя — *герпетобий*, мохового яруса — *бриобий*, травостоя — *филлобий*, более высоких ярусов — *аэробий*. Среди птиц есть виды, гнездящиеся только на земле (куриные, тетеревиные, коньки, овсянки и т. д.), другие — в кустарниковом ярусе (певчие дрозды, снегири, славки) или в

кронах деревьев (зяблики, корольки, щеглы, крупные хищники и т.п.). Однако следует отметить, что некоторые животные могут перемещаться из одного яруса в другой. Так, серая белка кормится на земле, а спит и выводит потомство на деревьях. Птицы могут отдыхать на одном ярусе, а питаться на других. Неясыть обыкновенная охотится на млекопитающих в травянистом и приземном ярусах, а гнездится в древесном пологе.

Виды растений и животных в большинстве случаев значительно различаются по своему отношению к условиям среды. Растения каждого нижележащего яруса теневыносливее, чем расположенные над ними. Это обусловлено тем, что освещение при переходе от верхних ярусов к нижним ослабевает и для световых растений становится недостаточным. Виды различных ярусов в биоценозе находятся в тесном взаимоотношении и взаимозависимости. Разрастание верхних ярусов сообщества уменьшает густоту нижних, зачастую до полного исчезновения слагающих их растений (рис. 11.6).

Вместе с тем разреживание верхнего яруса способствует усилению развития растений нижних ярусов из-за улучшения светового режима, влаги, тепла, а также повышению содержания минеральных веществ в почве. Разрастание нижних ярусов оказывает положительное влияние на животных и в количественном, и в качественном отношении.

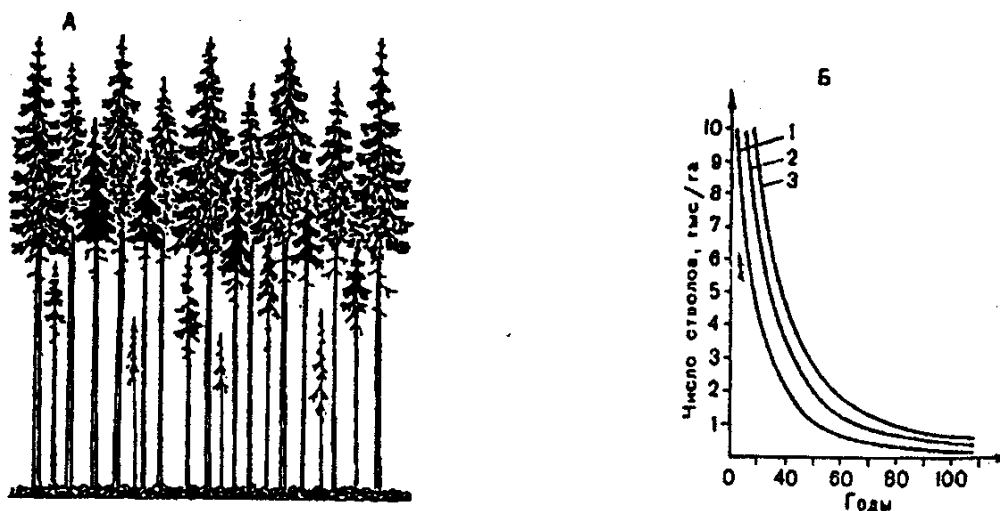


Рис. 11.6. Самоизреживание в древесных насаждениях:

А — господствующие и угнетенные деревья в ельнике; Б — ход изреживания стволов с возрастом у сосны (1), березы (2) и ели (3) (по Г. Ф. Морозову, 1928)

Это особенно отчетливо выражено в лесных биоценозах, где при разреживании древостоя обильно разрастаются кустарники или светолюбивая травянистая растительность. При полном же слиянии древостоя, например в мо-лдняках, может наблюдаться подавление даже теневыносливых трав и мхов. Следует заметить, что не всегда верхний ярус доминирует над нижним. Так, на верховом болоте господствующая роль принадлежит сфагновому

покрову.

В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает и определенную структуру в горизонтальном направлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название *мозаичности* и свойственна практически всем фитоце-нозам (рис. 11.7).



Рис. 11.7. 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 осиной; 6 — осиново-снытевый; 7 — крупнопоротниковый в окне; 8 — елово-щитовниковый; 9 — хвощевый в окне (по Н. В. Дылису, 1971)

В их пределах выделяют следующие структурные единицы: микрогруппировки, микроценозы, микрофитоценозы, парацеллы и т. д. Данные микрогруппировки различаются видовым составом, количественным соотношением разных видов, сомкнутостью, продуктивностью и другими свойствами.

Обусловлена мозаичность такими причинами, как неоднородность микрорельефа почв, средообразующее влияние растений и их биологические особенности. Мозаичность может возникнуть как результат деятельности человека (выборочная рубка, кострища и др.) или животных (выбросы почвы и их последующее зарастание, образование муравейников, вытаптывание, стравливание травостоя копытными и т. д.), вывалов древостоя во время ураганов и т. д.

Под влиянием жизнедеятельности отдельных видов растений изменения среды создают *фитогенную мозаичность*. Например, она хорошо выражена в смешанных хвойно-широколиственных лесах. По сравнению с лиственными породами ель сильнее при-теняет поверхность почвы, задерживает кронами больше дождевой влаги и снега. Опад ели разлагается медленнее, способствует оподзоливанию почвы. Отметим, что в геоботанике структурная часть фитоценоза получила название *синузии* (рис. 11.8).

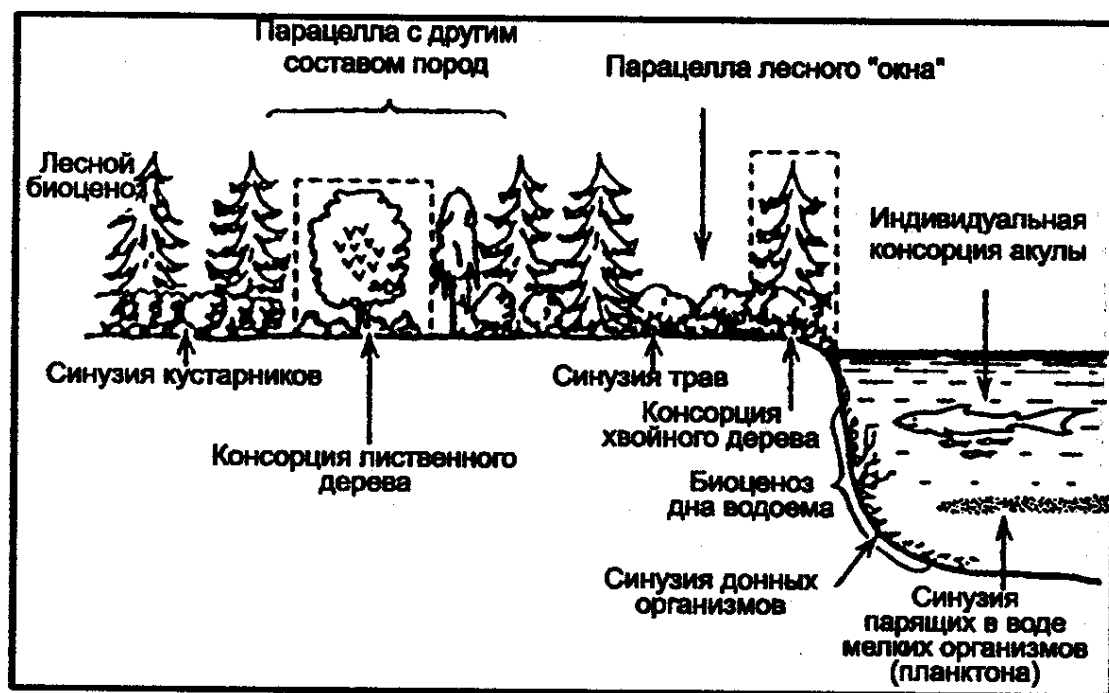


Рис. 11.8. Консорция, синузия и парацелла
(по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Она характеризуется определенным видовым составом и эколого-биологическим единством входящих в нее видов. Например, синузия сосны, синузия брусники, синузия зеленых мхов и другие синузии лесной зоны. В полынно-солянковой пустыне выделяют синузии летне-осенних кустарников (полыни, солянки), ранне-весенних эфемеров и эфемероидов.

Неравномерность древесного полога в лесу сильно отражается на нижележащих ярусах, на их животном населении, почве, лесной подстилке, микробном составе, климате. В этом случае синузии называют парацеллами. *Парацеллы* — это структурные части горизонтального расчленения биоценоза, отличающиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена. В отличие от синузии и яруса по геоботаническим понятиям парацелла является комплексной единицей, так как на правах участников обмена веществ и энергии в нее входят растения, животные, микроорганизмы, почва, атмосфера.

11.4. Отношения организмов в биоценозах

Разнообразные формы биотических отношений, в которые вступают те или иные виды в биоценозе (конкуренция, комменсализм, мутуализм, хищник-жертва и др.), определяют основные условия их жизни в сообществе, возможности добывания пищи и завоевания нового пространства.

Прямые и косвенные межвидовые отношения по значению, которое они имеют для занятия видом в биоценозе определенного положения, по классификации В. Н. Беклемишева (1970), подразделяются на четыре типа: 1) трофические, 2) топические, 3) форические и 4) фабрические.

Трофические связи наблюдаются, когда один вид питается другим —либо их мертвыми остатками, либо продуктами их жизнедеятельности. Как стрекозы, ловящие на лету других насекомых, так и жуки-навозники, питающиеся пометом крупных копытных, и пчелы, собирающие нектар растений, вступают в прямую трофическую связь с видами, которые предоставляют им пищу. При конкуренции двух видов из-за объектов питания между ними возникает косвенная трофическая связь, вследствие того что деятельность одного отражается на снабжении кормом другого. Воздействие одного вида на поедаемость другого или доступность для него пищи расценивается так же, как косвенная трофическая связь между ними. Так, гусеницы бабочек-монашенков, объедая хвою сосен, облегчают короедам доступ к ослабленным деревьям.

Топические связи характеризуют любое физическое или химическое изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого. Данный вид связей отличается большим разнообразием. Топические связи заключаются в создании одним видом среды для другого (внутренний паразитизм или норный комменсализм), в формировании субстрата, на котором поселяются или избегают поселяться представители других видов, во влиянии на движение воды, воздуха, изменение температуры, освещенности окружающего пространства, в насыщении среды продуктами насыщения и т. д. Морские желуди, поселяющиеся на коже китов, лишайники на стволах деревьев связаны прямой топической связью с организмами, представляющими им субстрат или среду обитания. Значительная роль в создании или изменении среды для других организмов принадлежит растениям. Из-за особенностей энергообмена растительность является мощным фактором перераспределения тепла у поверхности Земли и создания мезо- или микроклимата. Под пологом леса подлесок, напочвенный покров, животные находятся в условиях более выравненных температур, более высокой влажности воздуха и т. д. Хотя и в меньшей степени, травянистая растительность; также изменяет режим окружающего пространства. В результате положительных или отрицательных топических взаимоотношений одни виды определяют или исключают возможность существования в биоценозе других видов.

В биоценозе трофические и топические связи имеют наибольшее значение, составляют основу его существования. Эти типы отношений удерживают друг возле друга организмы разных видов, объединяя их в сравнительно стабильные сообщества разных масштабов.

Форические связи — это участие одного вида в распространении другого. В роли транспортировщиков выступают животные. Как нами было отмечено ранее, перенос животными семян, спор, пыльцы растений называют *зоохорией*. Перенос же животными других, более мелких животных называют *форезией* (от лат. *форас*, — наружу, вон). Обычно перенос осуществляется с помощью специальных и разнообразных приспособлений. Форезия животных преимущественно распространена среди мелких членистоногих: например, у разнообразных групп клещей представляет собой один из способов пассивного их расселения. Она свойственна видам, для которых перенос из одного биотипа

в другой жизненно необходим для сохранения или процветания. Так, многие летающие насекомые (рис. 11.9) — посетители скоплений быстро разлагающихся органических остатков (трупов, животных, куч гниющих растений и др.) — несут на себе гамазовых, уроподовых или тирогли-фоидных клещей, переселяющихся данным способом от одного скопления пищевых материалов к другому.

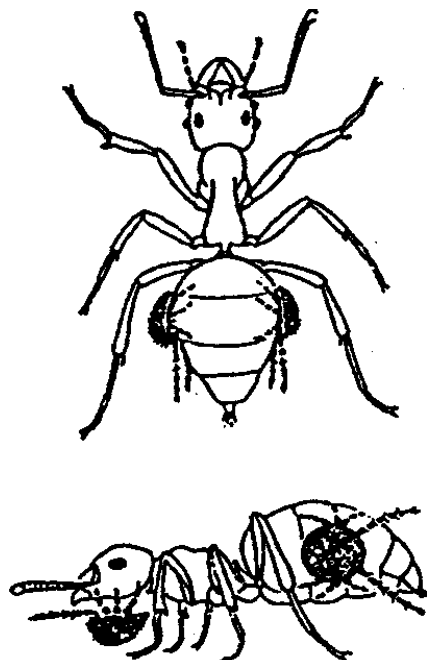


Рис. 11.9. Форезия клещей на насекомых (по W. Jacobs, M. Renner, 1974)

Жуки-навозники нередко ползают с поднятыми подкрыльями, так как не в состоянии их сложить из-за густо усеявших тело клещей. При помощи форезии на насекомых распространяются некоторые виды нематод. Ноги навозных мух иногда имеют вид ламповых щеток из-за обилия прикрепившихся особей рода *Rhabditis*. Форезия среди крупных животных практически не встречается.

Фабрические связи — это такой тип биоценотических отношений, в которые вступает вид, используя для своих сооружений (фабрикаций) продукты выделения или мертвые остатки или даже живых особей другого вида (В. Н. Беклемишев, 1970). Например, птицы употребляют для постройки гнезд ветви деревьев, листья, траву, шерсть млекопитающих, пух и перья других видов птиц и т. д. Пчела-мегахила помещает яйца и запасы в стаканчики, которые сооружены из мягких листьев различных кустарников (акаций, сирени, шиповника и др.).

Каждый конкретный вид из-за сложности межвидовых взаимоотношений может преуспевать не везде, где складываются подходящие для него условия физической среды. Отмечают физиологический и синэкологический оптимумы в распространении вида.

Физиологический оптимум — благоприятное для вида сочетание всех

видов абиотических факторов, при котором возможны наиболее быстрые темпы роста и размножения. *Синэкологический оптимум* — биотическое окружение, при котором вид испытывает наименьшее давление со стороны врагов и конкурентов, что позволяет ему успешно размножаться. Физиологический и синэкологический оптимумы далеко не всегда совпадают. Большинство листостебельных растений — амфитолерантные формы с широким оптимумом от слабокислых до слабощелочных значений pH и с диапазоном толерантности от 3,5 до 8,5 pH при выращивании в одновидовых посевах. В естественном же распространении некоторые из них ограничены относительно низкими пределами pH. В таком случае их синэкологический оптимум не совпадает с физиологическим оптимумом (рис. 11.10).

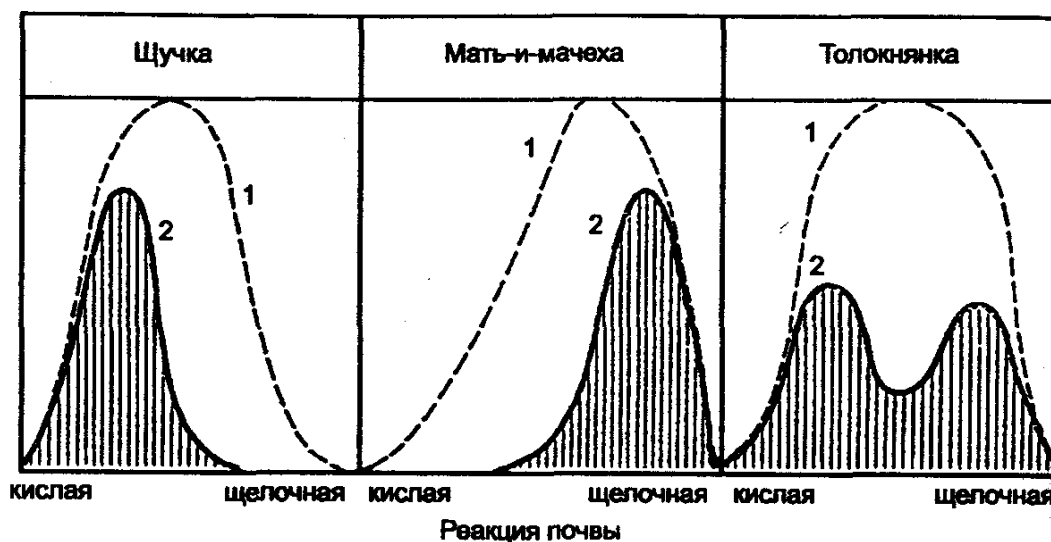


Рис. 11.10. Влияние pH на рост различных растений при выращивании в одновидовых посевах и в условиях конкуренции (по В. Лархеру, 1978)

Примечание: кривые физиологического (1) и синэкологического (2) оптимумов

В отличие от видов, которые могут выдерживать конкуренцию в пределах своего физиологического оптимума, некоторые виды оттесняются в места с меньшей интенсивностью конкуренции. Тогда они полностью используют границы своей толерантности по отношению pH почвы. В результате, например, такой амфитолерантный вид растения, как толокнянка, распространен в большинстве своем на кислых и щелочных почвах.

Другой пример несовпадения физиологического и синэкологического оптимумов — массовое размножение вредителя зерновых культур гессенской мухи, после особенно суровых зим, которые должны были бы неблагоприятно сказаться на численности данного насекомого. В нормальные по условиям годы гессенскую муху сильно истребляют несколько видов ее естественных врагов — паразитических перепончатокрылых наездников. Из-за слабой морозоустойчивости в суровые зимы враги гессенской мухи погибают практически полностью. Это дает возможность вредителю восстановить собственную численность, уменьшенную низкими температурами в зимний период, и беспрепятственно размножаться в угрожающем для урожая

количестве.

Межвидовые связи, формирующие биоценоз, обуславливают закономерные соотношения в нем видов, их экологических особенностей, численности, распределения в пространстве, или, можно сказать, позволяют создать определенную структуру биоценоза.

11.5. Экологические ниши

Экологической нишей называют положение вида, которое он занимает в общей системе биоценоза, комплекс его биocenотических связей и требований к абиотическим факторам среды. Экологическая ниша отображает участие вида в биоценозе. При этом имеется в виду не территориальное его размещение, а функциональное проявление организма в сообществе. По выражению Ч. Элтона (1934), экологическая ниша — «это место в живом, окружении, отношение вида к пище и к врагам». Концепция экологической ниши оказалась весьма плодотворной для понимания законов совместной жизни видов. Помимо Ч. Элтона над ее развитием работали многие экологи, среди них Д. Гриннелл, Г. Хатчинсон, Ю. Одум и др.

Существование вида в сообществе определяется сочетанием и действием многих факторов, но в определении принадлежности организмов к той или иной нише исходят из характера питания этих организмов, из их способности добывать или поставлять пищу. Так, зеленое растение, принимая участие в сложении биоценоза, обеспечивает существование целому ряду экологических ниш. Это могут быть ниши, охватывающие организмы, питающиеся тканями корней или тканями листьев, цветками, плодами, выделениями корней и т. д. (рис. 11.11).

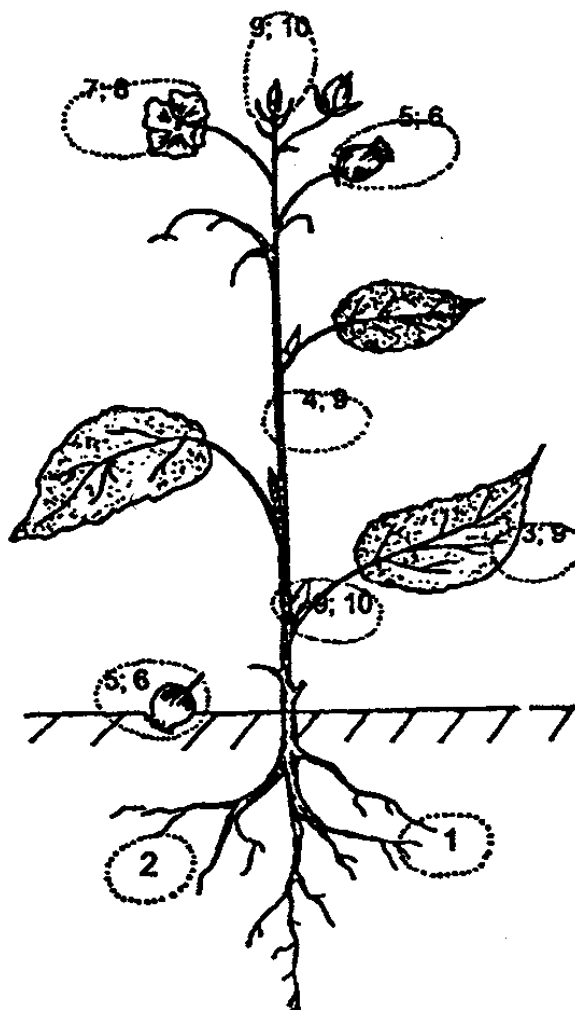


Рис. 11.11. Размещение экологических ниш, приуроченных к растению:

1 — корнееды; 2 — поедающие корневые выделения; 3 — листоеды; 4 — стволоеды; 5 — плодоеды; 6 — семяеды; 7 — цветкоеды; 8 — пыльцееды; 9 — сокоеды; 10 — почкоеды (по И. Н. Пономаревой, 1975)

Каждая из этих ниш включает в себя разнородные по видовому составу группы организмов. Так, в экологическую группу корнеедов входят и нематоды, и личинки некоторых жуков (щелкуна, майского хруща), а в нишу сосущих соки растения — клопы, тли. Экологические ниши «стеблееды» или «стволоеды» охватывают большую группу животных, среди которых особенно многочисленны насекомые (древоточцы, древесинники, короеды, усачи и др.).

Следует отметить, что среди них имеются и такие, которые питаются только древесиной живых растений или только корой — те и другие принадлежат к разным экологическим нишам. Специализация видов в отношении пищевых ресурсов уменьшает конкуренцию, увеличивает стабильность структуры сообщества.

Существуют различные типы разделения ресурсов.

1. Специализация морфологии и поведения в соответствии с родом пищи: например, клюв у птиц может быть приспособлен для ловли насекомых, долбления отверстий, раскалывания орехов, разрывания мяса и др.

2. Вертикальное разделение, например, между обитателями полога и лесной подстилки.

3. Горизонтальное разделение, например, между обитателями различных микроместообитаний. Каждый из этих типов или их комбинация приводит к разделению организмов на группы, менее конкурирующих между собой, так как каждая из них занимает свою нишу. Например, существует разделение птиц на экологические группы, основанное на месте их питания: воздух, листва, ствол, почва. Дальнейшее подразделение этих групп в зависимости от основного типа пищи показано на рис. 11.12.

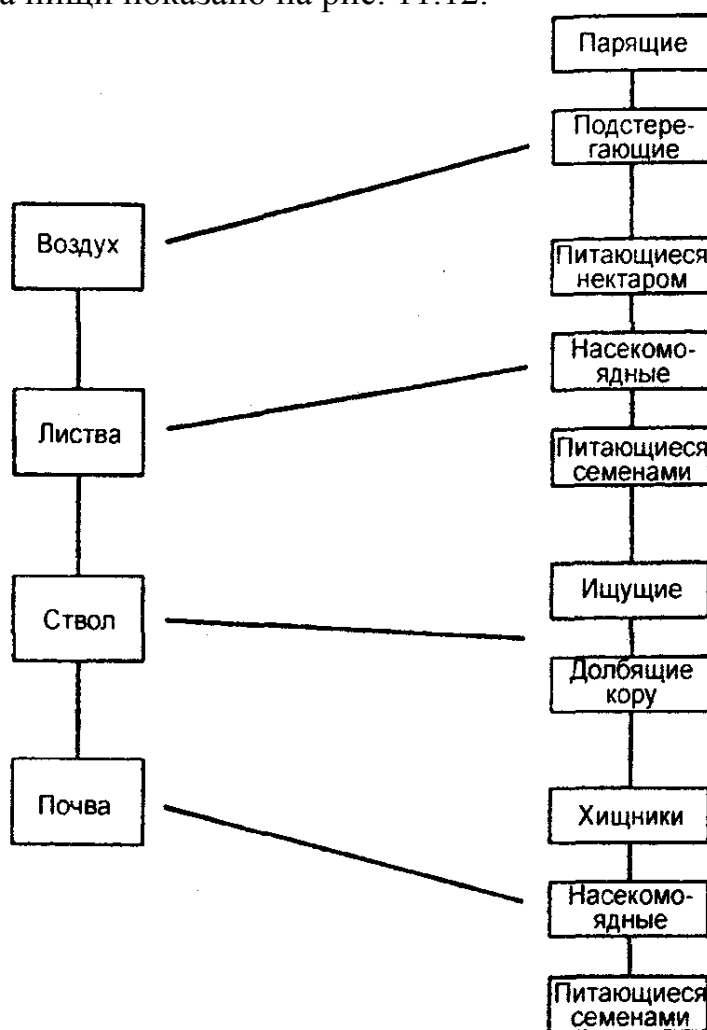


Рис. 11.12. Разделение птиц на экологические группы, основанное на месте их питания: воздух, листва, ствол, земля (по Н. Грину и др., 1993)

Специализация вида по питанию, использованию пространства, времени активности и другим условиям характеризуется как сужение его экологической ниши, а обратные процессы — как его расширение.

На сужение или расширение экологической ниши вида в сообществе большое влияние оказывают конкуренты. Сформулированное Г. Ф. Гаузе правило конкурентного исключения для близких по экологии видов может быть выражено таким образом, что два вида не уживаются в одной экологической нише. Выход из конкуренции достигается расхождением

требований к среде, изменению образа жизни или, другими словами, является разграничением экологических ниш видов. В этом случае они приобретают способность сосуществовать в одном биоценозе. Так, в мангровых зарослях побережья Южной Флориды обитают самые разные цапли и нередко на одной и той же отмели кормятся рыбой до девяти разных видов. При этом они практически не мешают друг другу, так как в их поведении — в том, какие охотничьи участки они предпочитают и как ловят рыбу, — выработались приспособления, позволяющие им занимать различные ниши в пределах одной и той же отмели. Зеленая кваква пассивно поджидает рыбу, сидя на выступающих из воды корнях мангровых деревьев. Луизианская цапля делает резкие движения, взбалтывая воду и вспугивая затаившихся рыбок. Снежная цапля в поисках добычи медленно передвигается с места на место.

Наиболее утонченным способом лова пользуется красная цапля, которая сначала взбаламучивает воду, а затем широко раскрывает крылья, создавая тень. При этом, во-первых, она сама хорошо видит все происходящее в воде, а, во-вторых, вспугнутые рыбы принимают тень за укрытие, устремляются к нему, попадая прямо в клюв врага. Размеры большой голубой цапли позволяют ей охотиться в местах, не доступных для ее более мелких и коротконогих сородичей. Насекомоядные птицы в зимних лесах России, кормящиеся на деревьях, за счет разного характера поиска пищи также избегают конкуренции друг с другом. Поползни и пищухи собирают пищу на стволах. Поползни стремительно обследуют деревья, быстро схватывая насекомых, семена, оказавшиеся в крупных трещинах коры, а мелкие пищухи тщательно обшаривают на поверхности ствола малейшие щелки, в которые проникает их тонкий шиловидный клюв. В европейской части России существуют близкие виды синиц, изоляция которых друг от друга обусловлена различиями в местообитаниях, местах кормежки и размерах добычи. Экологические различия отражаются и в ряде небольших деталей внешнего строения, в том числе в изменениях длины и толщины клюва (рис. 11.13).

Зимой в смешанных стайках большие синицы ведут широкий поиск пищи на деревьях, в кустах, на пнях, а часто и на снегу. Синицы-гаички обследуют большей частью крупные ветви. Длиннохвостые синицы ищут корм на концах ветвей, а мелкие королюки тщательно обследуют верхние части крон хвойных.

Многочисленные отряды животных, питающихся травой, имеют в своем составе степные биоценозы. Среди них много крупных и мелких млекопитающих, таких, как копытные (лошади, овцы, козы, сайгаки) и грызуны (суслики, сурки, мышевидные). Все они составляют одну большую функциональную группу биоценоза (экосистемы) — травоядных животных. Вместе с тем исследования показывают, что роль этих животных в потреблении растительной массы не одинакова, так как они используют в своем питании разные составные части травяного покрова.

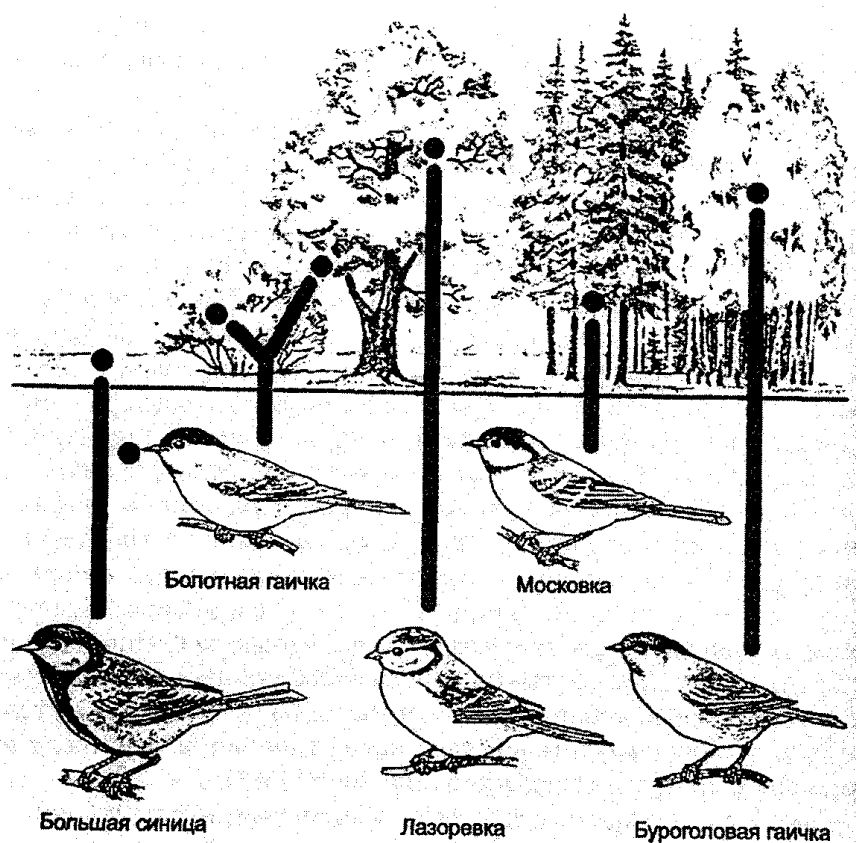


Рис. 11.13. Пищевые угодья у различных видов синиц (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Так, крупные копытные (в настоящее время это домашние животные и сайгаки, а до освоения человеком степей — только дикie виды) лишь частично, выборочно выедают корм, главным образом высокие, наиболее питательные травы, откусывая их на значительной высоте (4—7 см) от поверхности почвы. Сурки, живущие здесь же, выбирают корм среди травостоя, изреженного и измененного копытными, поедая его, что было им недоступно. Сурки поселяются и кормятся только там, где нет высококотравья. Более мелкие животные — суслики — предпочитают собирать корм там, где еще сильнее нарушен травостой. Здесь они собирают то, что осталось от кормления копытных и сурков. Между этими тремя группами травоядных животных, образующих зооценоз, наблюдается разделение функций в использовании биомассы травянистого покрова. Отношения, сложившиеся между этими группами животных, не носят конкурентного характера. Все эти виды животных используют разные составные части растительного покрова, «доедая» то, что не является доступным другим травоядным. Разнокачественное участие в поедании травостоя или размещение организмов по разным экологическим нишам обеспечивает более сложную структуру биоценоза на данной территории, обеспечивая более полное использование условий жизни в природных экосистемах и максимальное потребление ее продукции. Совместное существование этих животных характеризуется не только отсутствием конкурентных связей, а наоборот, обеспечивает высокую

их численность. Так, отмечающееся в последние десятилетия увеличение сусликов и их расселение — результат усиления выпаса домашних животных в степных районах в связи с увеличением поголовья скота. В местах же, лишенных выпаса (например, заповедные земли), наблюдается сокращение численности сурков и сусликов. На участках с быстрым отрастанием трав (особенно на высокотравных участках) сурки уходят совсем, а суслики остаются в незначительном количестве.

Экологические ниши видов изменчивы в пространстве и во времени. Нередко в биоценозе один и тот же вид в разные периоды развития может занимать различные экологические ниши. Так, головастик питается растительной пищей, а взрослая лягушка—типичное плотоядное животное, и им свойственны различные экологические ниши и специфические трофические уровни. Разными экологическими нишами зимой и летом в связи с миграциями характеризуются и перелетные птицы. У насекомоядных птиц зимние экологические ниши отличаются от летних. В разные экологические ниши входят личинки оводов, паразитирующие на крупных млекопитающих, и их взрослые особи, не принимающие совсем пищу, или некоторые бабочки, у которых чрезвычайно активными являются гусеницы, пожирающие листья, хвою, а взрослые потребляют нектар или вообще не питаются. То же и у майского хруща: взрослое насекомое относится к экологической нише листоедов, а личинка — корнеед. Среди водорослей имеются виды, которые функционируют то как автотрофы, то как гетеротрофы, тем самым занимая в определенные периоды жизни те или иные экологические ниши.

У растений, живущих в одном ярусе, экологические ниши сходны, что способствует ослаблению конкуренции между растениями разных ярусов и обуславливает освоение ими различных экологических ниш. В биоценозе разные виды растений занимают разные экологические ниши, что ослабляет межвидовую конкурентную напряженность. Один и тот же вид растений в различных природных зонах может занимать разные экологические ниши. Так, сосна и черника в бору-черничнике, водные растения (рдесты, кубышка, водокрас, ряски) поселяются вместе, но распределяются по различным нишам. Седмичник и черника в лесах умеренной полосы являются типичными теневыми формами, а в лесотундре и тундре растут на открытых пространствах и становятся световыми. На экологическую нишу вида оказывают влияние межвидовая и внутривидовая конкуренции.

При наличии конкуренции с близкородственными или экологически сходными видами зона местообитания сокращается до *отц* мальных границ (рис. 11.14), т. е. вид распространяется в наиболее благоприятных для него зонах, где он обладает преимуществом по сравнению со своими конкурентами. Если межвидовая конкуренция сужает экологическую нишу вида, не давая проявиться в полном объеме, то внутривидовая конкуренция, напротив, способствует расширению экологических ниш. При возросшей численности вида начинается использование дополнительных кормов, освоение новых местообитаний, появление новых биоценологических связей.

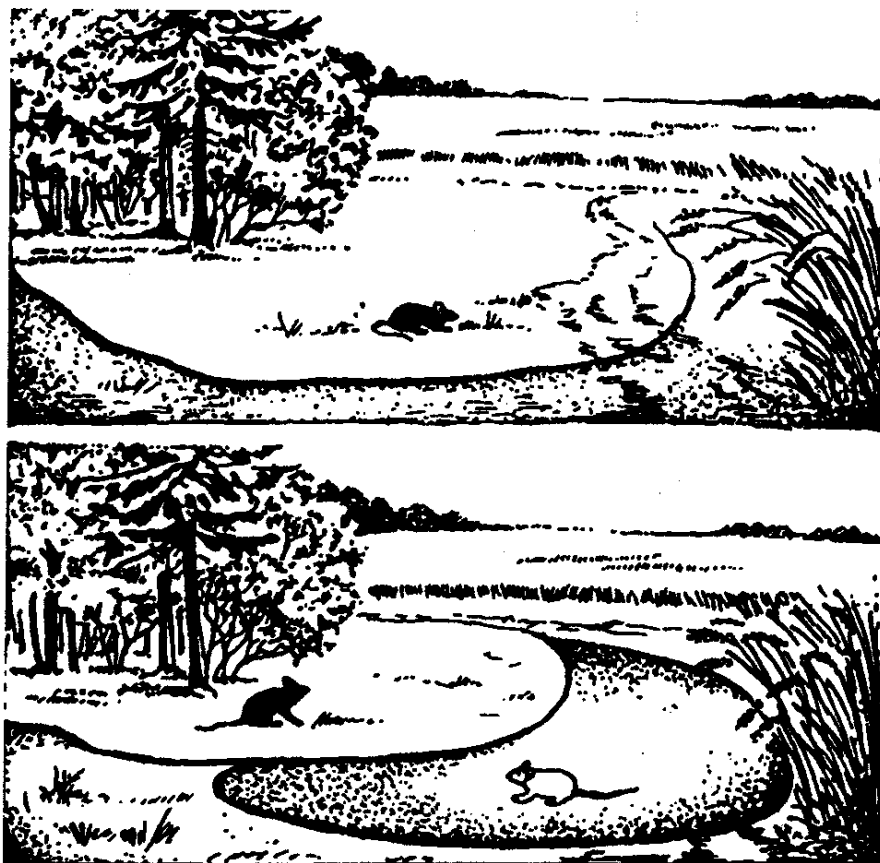


Рис. 11.14. Разделение мест обитания вследствие конкуренции
(по Е. А. Криксунову, 1995)

11.6. Экологическая структура биоценоза

Биоценозы состоят из определенных экологических групп организмов, выражающих экологическую структуру сообщества. Экологические группы организмов, занимая сходные экологические ниши, в разных биоценозах могут иметь разный видовой состав. Так, на увлажненных территориях доминируют гигрофиты, в сухих аридных условиях — склерофиты и суккуленты. Отражает экологическую структуру биоценоза и соответствие групп организмов, которые объединяются сходным типом питания (рис. 11.15). Например, в лесах преобладают сапрофаги, в степных и полупустынных зонах — фитофаги. В глубинах океана основной тип питания животных — хищничество, тогда как в поверхностной зоне пелагиали, более освещенной, много фильтраторов или видов со смешанным характером питания.

Различия в экологической структуре биоценоза наиболее четко проявляются при сравнении сообществ организмов в сходных биотопах разных регионов. К примеру, куница в европейской и соболь в азиатской тайге, дикие лошади и куланы в степях Азии занимают сходные экологические ниши и выполняют одни и те же функции. Данные виды определяют экологическую структуру сообщества и называются *замещающимися»* *викарирующими*.

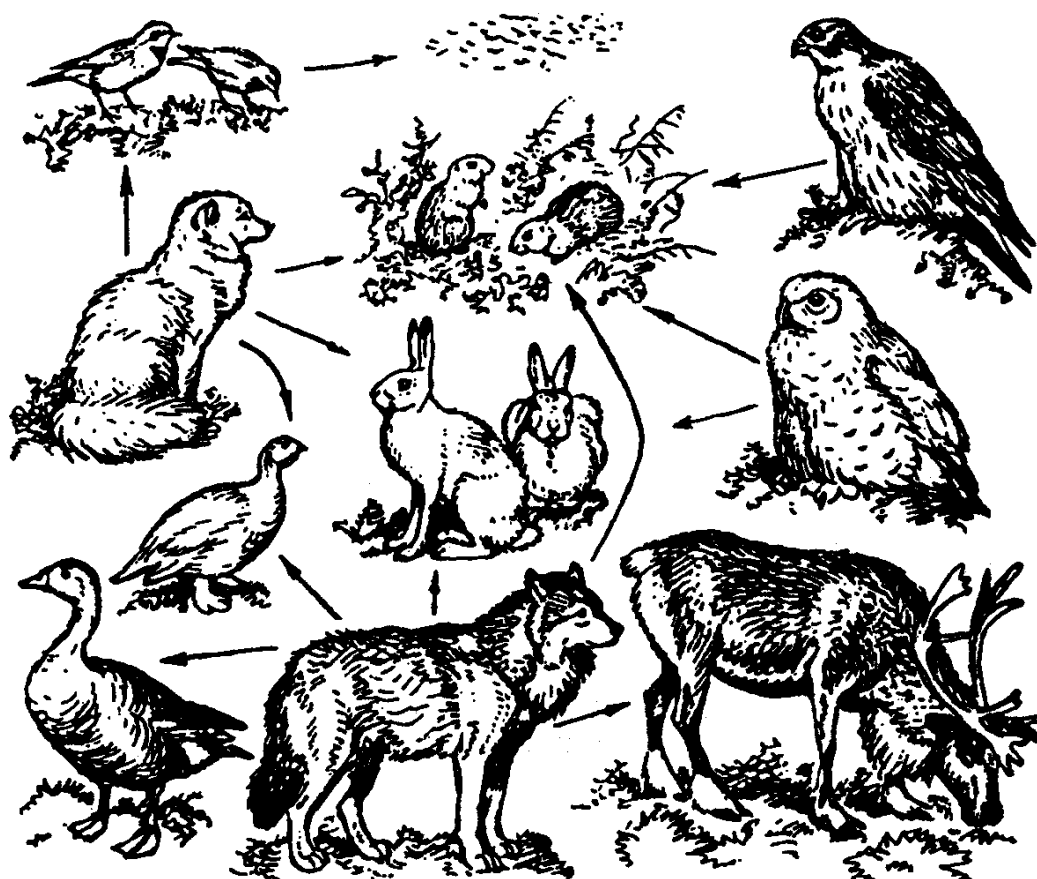


Рис. 11.15. Пищевые взаимоотношения между животными тундры

Стрелки направлены в сторону источника питания. Первый ряд: мелкие воробьиные, различные двукрылые насекомые, мохноногий канюк. Второй ряд: песец, лемминги, полярная сова. Третий ряд: белая куропатка, зайцы-беляки. Четвертый ряд: гусь, волк, северный олень

Таким образом, *экологическая структура биоценоза* — это его состав из *экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции*.

Экологическая структура биоценоза в комплексе с видовой и пространственной, с особенностями экологической ниши служит его макроскопической характеристикой (рис. 11.16).

Макроскопическая характеристика в отличие от микроскопической характеристики, дающей представление о связях каждой популяции и вида в сообществе, дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также предвидеть последствия изменений, вызванных влиянием антропогенных факторов.



Рис. 11.16. Биоценоз пруда

11.7. Пограничный эффект

Важнейшим признаком структурной характеристики биоценозов является наличие границ сообществ. Вместе с тем следует отметить, что они весьма редко бывают четкими. Как правило, соседние биоценозы постепенно переходят один в другой. И как результат, образуются обширные пограничные зоны, или переходные зоны, отличающиеся особыми условиями (рис. 11.17).

Так, границы между лесом и степью, лесом и лугом, лесом и болотом, между лесами с различными видами-эдификаторами выражены обычно хорошо. Заметим, что когда озеро окружено болотом, переходящим в сухой лес, границы между озером и болотом, болотом и лесом продвигаются в связи с влажностью, меняющейся в течение сезона. Однако независимо от сезонного изменения условий границы между этими биоценозами не являются резкими, так как растения и животные, характерные для каждого из них, проникая на соседние территории, создают специфическую «опушку», пограничную полосу, называемую *эктоном*.

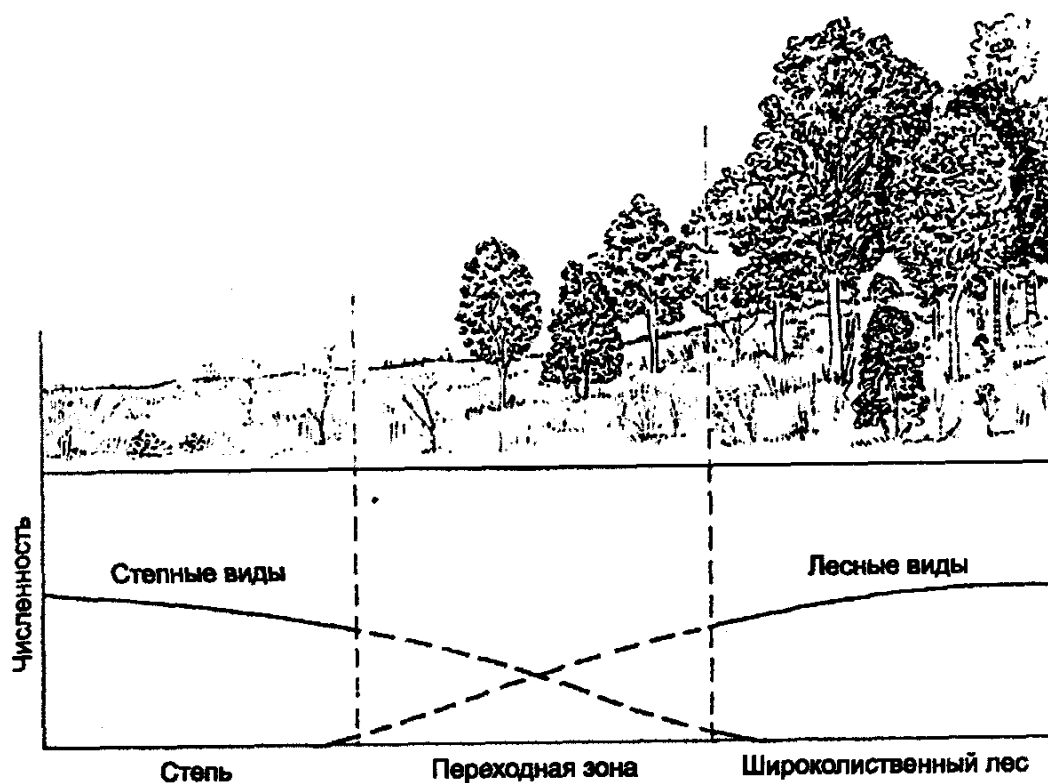


Рис. 11.17. Переходные пограничные зоны между биоценозами
(по Б. Небелу, 1993)

Между двумя биоценозами пограничная зона занимает промежуточное положение, отличаясь от них температурным режимом, влажностью, освещенностью. Здесь как бы переплетаются типичные условия соседствующих биоценозов. По-другому, в переходной зоне произрастают растения, характерные для обоих биоценозов. Обилие растений привлекает сюда и разнообразных животных, поэтому пограничная зона обычно более богата жизнью, чем каж» дый из смежных биоценозов.

Пограничная зона нередко представляет собой особое местообитание со своими специализированными видами, например в переходной! зоне между наземными и водными биоценозами (рис. 11.18).

Таким образом, при пространственном переходе одного биоценоза в другой число экологических ниш возрастает, так как это случается на границах биотопов, обладающих свойствами стыкующихся ценозов, нередко дающих не простую сумму, а новое] системное качество.

В таких переходных зонах возникает сгущение видов и особей, наблюдается так называемый краевой эффект, или эффект опушки. *Правило экотона*, или краевого эффекта, и состоит в том, что на стыках биоценозов увеличивается число видов и особей в них.

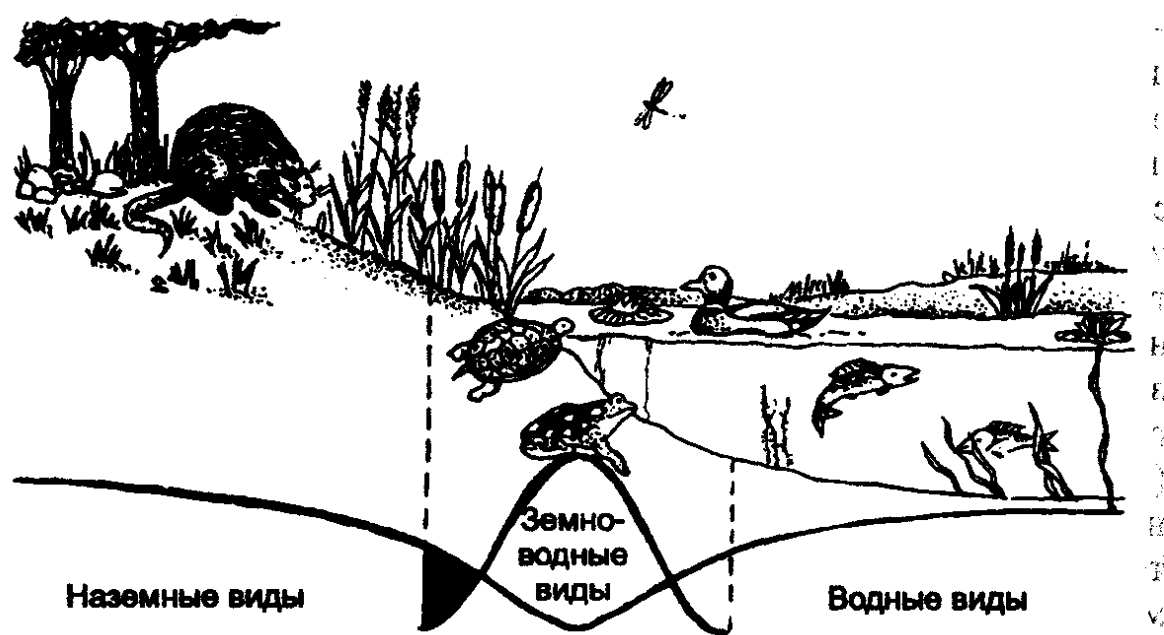


Рис. 11.18. Переходная (пограничная) зона между наземными и водными биоценозами (по Б. Небелу, 1993)

12. ЭКОСИСТЕМЫ

12.1. Понятие об экосистемах

Живые организмы и их неживое (абиотическое) окружение неразделимо связаны друг с другом, находятся в постоянном взаимодействии. Любая единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляет собой экологическую систему. Экологическая система, или экосистема, — основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда — компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Термин «экосистема» впервые был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тенсли (1871—1955).



А. Тенсли

Само же представление об экосистеме возникло значительно раньше. Упоминание об единстве организмов и среды можно найти в самых древних письменных памятниках истории. Однако только в конце XIX в. стали появляться высказывания такого рода, при этом практически одновременно в американской, европейской и русской литературе (К. Мебиус, 1877; С. Форбс, 1877; В. Докучаев, 1886 и др.).

В настоящее время широкое распространение получило следующее определение экосистемы. *Экосистема — это любая совокупность организмов и неорганических компонентов, в которой может осуществляться круговорот веществ.* По Н. Ф. Реймерсу (1990), *экосистема — это любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами.* Следует подчеркнуть, что совокупность специфического физико-химического окружения (биотопа) с сообществом живых организмов (биоценозом) и образует экосистему. А. Тенсли (1935) предложил следующее соотношение:

$$\text{Экосистема} = \text{Биотоп} + \text{Биоценоз}$$

В отечественной литературе широко применяется термин «*биогеоценоз*», предложенный в 1940 г. В. Н. Сукачевым. По его определению, биогеоценоз — «это совокупность на известном 1 протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и

энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии». Существует мнение, будто содержание «биогеоценоз» в значительно большей степени отражает структурные характеристики изучаемой макросистемы, тогда как в понятие «экосистема» вкладывается прежде всего ее функциональная сущность. Фактически же между этими терминами различий нет.

Помимо известных концепций экосистемы А. Тенсли и био-геоценоза В. Н. Сукачева была выдвинута точка зрения, а точнее, сформулировано правило Ф. Эванса (1956), предложившего использовать термин «экосистема» абсолютно «безразмерно» для обозначения любой надорганизменной живой системы, взаимодействующей с окружением. Такой подход с точки зрения общей теории систем вполне логичен. Однако многие авторы термину «экосистема» придали значение именно биогеоценоза, т. е. элементарной экосистемы и одновременно более высоких по иерархии надбиогеоценологических образований вплоть до экосистемы биосферы.

12.2. Классификация экосистем

Существующие на Земле экосистемы разнообразны. Выделяют *микроэкосистемы* (например, ствол гниющего дерева), *мезоэкосистемы* (лес, пруд и т. д.), *макроэкосистемы* (континент, океан и др.) и *глобальную* — биосфера.

Крупные наземные экосистемы называют *биомами*. Каждый биом включает в себя целый ряд меньших по размерам, связанных друг с другом экосистем. Существует несколько классификаций экосистем. Например, одна из них, основанная на особенностях макроструктуры, приведена в табл. 12.1

Таблица 12.1

Основные типы природных экосистем и биомов (по Ю. Одуму, 1986)

Наземные биомы

Вечнозеленый тропический дождевой лес

Полувечнозеленый тропический лес: выраженный влажный и сухой сезоны

Пустыня: травянистая и кустарниковая

Чапараль — районы с дождливой зимой и засушливым летом

Тропические грасленд и саванна

Степь умеренной зоны

Листопадный лес умеренной зоны

Бореальные хвойные леса

Тундра: арктическая и альпийская

Типы пресноводных экосистем

Ленточные (стоячие воды): озера, пруды и т. д.

Логические (текущие воды): реки, ручьи и т. д.

Заболоченные угодья: болота и болотистые леса

Типы морских экосистем

Открытый океан (пелагическая)

Воды континентального шельфа (прибрежные воды)

Районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством)

Эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, соленые марши и т.д)

Наземные биомы здесь выделены по естественным или исходным чертам растительности, а типы водных экосистем по геологическим и физическим особенностям. Перечисленные в табл. 12.1 16 основных типов экосистем представляют собой ту среду, на которой развилась человеческая цивилизация, представляют основные биотические сообщества, поддерживающие жизнь на Земле.

12.3. Зональность макроэкосистем

Изучение географического распределения экосистем может быть предпринято только на уровне крупных экологических единиц — макроэкосистем, которые рассматриваются в континентальном масштабе. Экосистемы не разбросаны в беспорядке, наоборот, сгруппированы в достаточно регулярных зонах как по горизонтали (по широте), так и по вертикали (по высоте). Это подтверждается *периодическим законом географической зональности А. А. Григорьева — М. И. Будыко*: со сменой физико-географических поясов Земли аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются. Об этом шла речь и при рассмотрении наземно-воздушной среды жизни. Установленная законом периодичность проявляется в том, что величины индекса сухости меняются в разных зонах от 0 до 4—5, трижды между полюсами и экватором они близки к 1. Этим значениям соответствует наибольшая биологическая продуктивность ландшафтов (рис. 12.1).

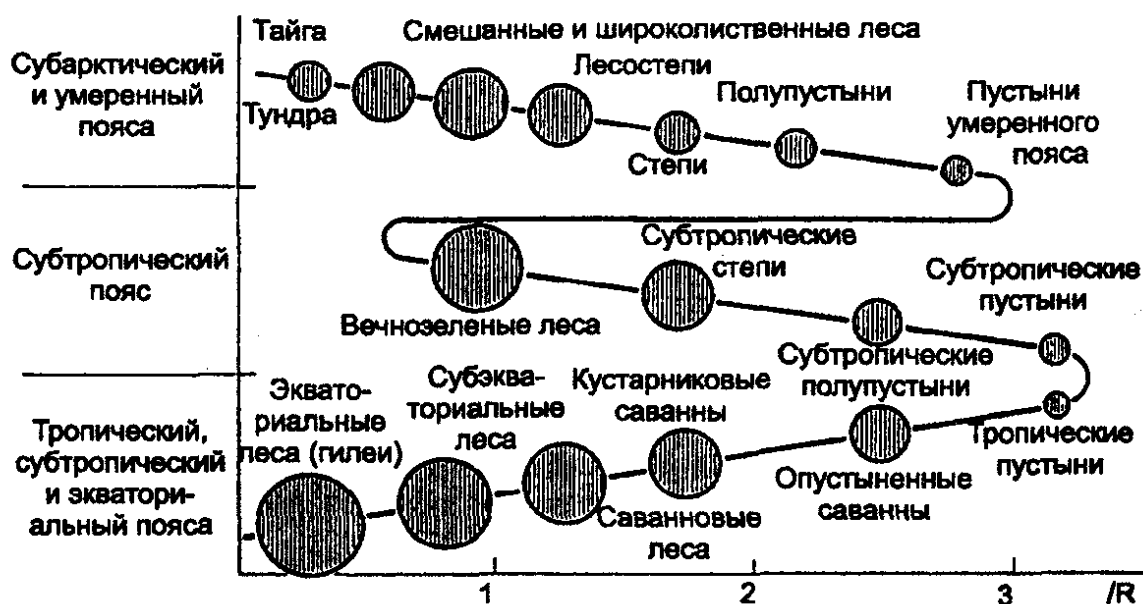


Рис. 12.1. Периодический закон географической зональности

А. А. Григорьева — М. И. Будыко (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

Примечание: 1 — радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к количеству тепла, необходимому для испарения годовой суммы осадков). Диаметры кружков пропорциональны биологической продуктивности ландшафтов

Периодическое повторение свойств в рядах систем одного иерархического уровня, вероятно, является общим законом мироздания, сформулированного как закон *периодичности строения системных совокупностей, или системно-периодический закон*

— конкретные природные системы одного уровня (подуровня) организации составляют периодический или повторяющийся ряд морфологически аналогичных структур в пределах верхних и нижних системных пространственно-временных границ, за которые ми существование систем данного уровня делается невозможным. Они переходят в неустойчивое состояние или превращаются в иную системную структуру, в том числе другого уровня организации.

Два абиотических фактора — температура и количество осадков — определяют размещение по земной поверхности основных наземных биомов. Режим температуры и осадков на некоторой территории в течение достаточно долгого периода времени и есть то, что мы называем *климатом*. Климат в разных районах земного шара неодинаков. Годовая сумма осадков меняется от 0 до 2500 мм и более. При этом они выпадают равномерно в течение года или их основная доля приходится на определенный период — влажный сезон. Среднегодовая температура также варьирует от отрицательных величин до 38°C. Температуры могут быть практически постоянными в течение всего года (у экватора) или меняться по сезонам. Следует отметить, что режимы температуры и осадков сочетаются между собой весьма неодинаковым образом.

Специфика климатических условий в свою очередь определяет развитие того или иного биома (рис. 12.2).

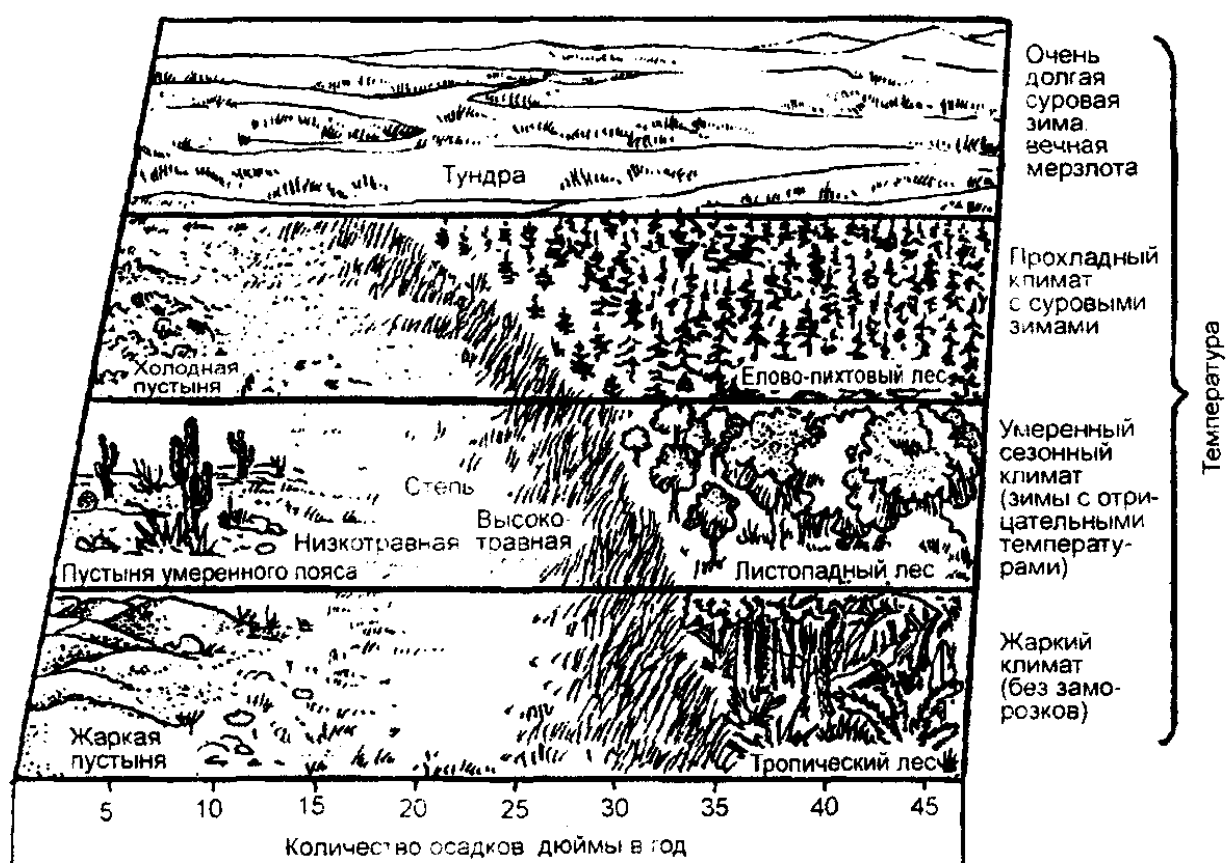


Рис. 12.2. Абиотические факторы и основные биомы (по Б. Небелу, 1993)

От экватора к полюсам видна определенная симметрия в распределении биомов различных полушарий.

1. *Дождевые тропические леса* (север Южной Америки, Центральная Америка, западная и центральная части экваториальной Африки, Юго-Восточная Азия, прибрежные районы северо-запада Австралии, острова Индийского и Тихого океанов). Климат — без смены сезонов (близость к экватору), температура — среднегодовая выше 17°C (обычно 28°C), осадки — среднегодовое количество превышает 2400 мм.

Растительность: господствуют леса. Насчитываются сотни видов деревьев высотой до 60 м. На их стволах и ветвях — растения-эпифиты, корни которых не достигают почвы, и деревянистые лианы, укореняющиеся в почве и взбирающиеся по деревьям до их вершин. Все это образует густой полог.

Животный мир: видовой состав богаче, чем во всех других биомов вместе взятых. Особенно многочисленны земноводные, пресмыкающиеся и птицы (лягушки, ящерицы, змеи, попугаи), обезьяны и другие мелкие млекопитающие, экзотические насекомые с яркой окраской, в водоемах — ярко окрашенные рыбы.

Прочие особенности: почвы, как правило, маломощные и бедные, большая часть питательных веществ содержится в биомассе поверхности

укорененной растительности.

2. *Саванны* (субэкваториальная Африка, Южная Америка, значительная часть южной Индии). Климат — сухой и жаркий большую часть года. Обильные дожди в течение влажного сезона. Температура — среднегодовая высокая. Осадки — 750—1650 мм/год, главным образом во время сезона дождей. Растительность: мятликовые (злаковые) растения с редкими листопадными деревьями. Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие, такие, как антилопы, зебры, жирафы, носороги, из хищников — львы, леопарды, гепарды.

3. *Пустыни* (некоторые районы Африки, например Сахара; Ближнего Востока и Центральной Азии, Большой Бассейн и юго-запад США и север Мексики и др.). Климат — очень сухой. Температура — жаркие дни и холодные ночи. Осадки — менее 250 мм/год. Растительность: редкостойный кустарник, нередко колючий, иногда — кактусы и низкие травы, быстро покрывающие землю цветущим ковром после редких дождей. Корневые системы у растений обширные поверхностные, перехватывающие влагу редких осадков, а также стержневые корни, проникающие в землю до уровня грунтовых вод (30 м и глубже). Животный мир: разнообразные грызуны (кенгуровая крыса и др.), жабы, ящерицы, змеи и другие пресмыкающиеся, совы, орлы, грифы, мелкие птицы и насекомые в большом количестве.

4. *Степи* (центр Северной Америки, Россия, отдельные районы Африки и Австралии, юго-восток Южной Америки). Климат — сезонный. Температура — летние от умеренного теплого до жаркого, зимние температуры ниже 0°C. Осадки — 750—2000 мм/год. Растительность: господствуют мятликовые (злаковые) высотой до 2 м и выше в некоторых прериях Северной Америки или до 50 см, например, в степях России, с отдельными деревьями и кустарниками на влажных участках. Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие — бизоны, вилорогие антилопы (Северная Америка), дикие лошади (Евразия), кенгуру (Австралия), жирафы, зебры, белые носороги, антилопы (Африка); из хищников — койоты, львы, леопарды, гепарды, гиены, разнообразные птицы и мелкие роющие млекопитающие, такие, как кролик, суслик, трубказуб.

5. *Леса умеренного пояса* (Западная Европа, Восточная Азия, восток США). Климат — сезонный с зимними температурами ниже 0°C. Осадки — 750—2000 мм/год. Растительность: господствуют леса из широколиственных листопадных пород деревьев высотой до 35—45 м (дуб, гикори, клен), кустарниковый подлесок, мхи, лишайники. Животный мир: млекопитающие (белохвостый олень, дикобраз, енот, опоссум, белка, кролик, землеройки), птицы (славки, дятлы, дрозды, совы, соколы), змеи, лягушки, саламандры, рыбы (форель, окунь, сом и др.), обильная почвенная микрофауна.

Биота адаптирована к сезонному климату: спячка, миграции, состояние покоя в зимние месяцы.

6. *Хвойные леса, тайга* (северные районы Северной Америки, Европы и Азии). Климат — долгая и холодная зима, много осадков выпадает в виде снега. Растительность: господствуют вечнозеленые хвойные леса, большей частью

еловые, сосновые, пихтовые. Животный мир: крупные травоядные копытные (олень-мул, северный олень), мелкие растительноядные млекопитающие (заяц-беляк, белка, грызуны), волк, рысь, лисица, черный медведь, гризли, россомаха, норка и другие хищники, многочисленные кровососущие насекомые во время короткого лета.

Множество болот и озер. Толстая лесная подстилка.

7. *Тундра* (в северном полушарии к северу от тайги). Климат — очень холодный с полярным днем и полярной ночью. Температура — среднегодовая ниже — 5°C. За несколько недель короткого лета земля оттаивает не более 1 м в глубину. Осадки — менее 250 мм/год. Растительность: господствуют медленно растущие лишайники, мхи, злаки и осоки, карликовые кустарники. Животный мир: крупные травоядные копытные (северный олень, мускусный бык), мелкие роющие млекопитающие (кругагодишно, например, лемминги), хищники, приобретающие зимой маскирующую белую окраску (песец, рысь, горностай, полярная сова).

В тундре коротким летом гнездится большое число перелетных птиц, среди них особенно много водоплавающих, которые питаются имеющимися здесь в изобилии насекомыми и пресноводными беспозвоночными.

Вертикальная зональность экосистем суши, особенно в местах с резко выраженным рельефом, также весьма четкая. Высотная ярусность сообществ живых организмов во многих отношениях сходна с широтным распределением крупных биомов.

Влажность является основным фактором, определяющим тип биома. При достаточно большом количестве осадков, как правило, развивается лесная растительность. Температура при этом определяет тип леса. Точно так же обстоит дело в биомах степи и пустыни. Смена типов растительности в холодных регионах происходит при меньших годовых суммах осадков, так как при низких температурах меньше воды теряется на испарение. Температурный фактор становится главным только в очень холодных условиях с вечной мерзлотой. Так, в тундре тепла хватает лишь на то, чтобы сошел снег и оттаяли самые верхние горизонты почвы. Ниже в ней постоянно сохраняется лед. Это явление и называется вечной мерзлотой. Она ограничивает распространение на север еловых и пихтовых лесов из-за препятствия глубокому проникновению в почву их корневой системы и в то же время не мешает произрастанию карликовых морозоустойчивых растений тундры.

При дальнейшем понижении температуры карликовая морозоустойчивая растительность тундры сменяется полярными пустынями.

Каждый биом характеризуется специфическим составом не только растений, но и животных. Так, белый полярный медведь водится только во льдах Арктики. Почему бы ему не жить в других биомах? Причина в том, что белый медведь приспособился к определенному комплексу условий. Он живет только там, где одновременно есть холодная вода, соответствующая пища (питается он в первую очередь тюленями, молодыми моржами, рыбой и выброшенными на мель китами) и дрейфующие льды. Там, где хоть одно из этих трех условий отсутствует, нет и медведей.

Таким образом, сложение экосистем в значительной мере зависит от их функциональной «предназначенности» и наоборот. По Н. Ф. Реймерсу (1994), это находит отражение в *принципе экологической комплементарности (дополнительности)*: никакая функциональная часть экосистемы (экологический компонент, элемент и т. д.) не может существовать без других функционально дополняющих частей. Близок к нему и расширяющий его *принцип экологической конгруэнтности (соответствия)*: функционально дополняя друг друга, живые составляющие экосистемы вырабатывают для этого соответствующие приспособления, скоординированные с условиями абиотической среды, в значительной мере преобразуемой теми же организмами (биоклимат и т. д.), т. е. наблюдается двойной ряд соответствия — между организмами и средой их обитания — внешней и создаваемой ценозом. Например, виды, составляющие экосистемы пустыни, приспособлены^ одной стороны, к ее климатическим и другим абиотическим условиям, а с другой — к среде экосистемы и друг к другу. Это же характерно для организмов любого биома и другого более низко или высоко стоящего в иерархии систем подразделения биосферы. В связи с этим здесь уместно привести *принцип (закон) формирования экосистемы* (функционально-пространственной экологической целостности, связи биотоп — биоценоз): длительное существование организмов возможно лишь в рамках экологических систем, где их компоненты и элементы дополняют друг друга и соответственно приспособлены друг к другу, что обеспечивает воспроизводство среды обитания каждого вида и относительно неизменное существование всех экологических компонентов. Совершенно очевидно, что принцип формирования экосистемы есть суммарное отражение принципа экологической комплементарности (дополнительности и принципа экологической конгруэнтности (соответствия),

12.4. Структура экосистем

Как уже было отмечено ранее, в каждой экосистеме два основных компонента: организмы и факторы окружающей их неживой среды. Совокупность организмов (растений, животных, микробов) называют *биотоп* экосистемы. Пути взаимодействия разных категорий организмов — это ее *биотическая структура*.

С точки зрения *трофической структуры* (от греч. trophe — питание), экосистему можно разделить на два яруса. 1. Верхний — *автотрофный* (самостоятельно питающийся) *ярус*, или «зеленый пояс», включающий растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений. 2. Нижний—*гетеро-трофный* (питаемый другими) *ярус*, или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т. д., в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений (рис. 12.3).

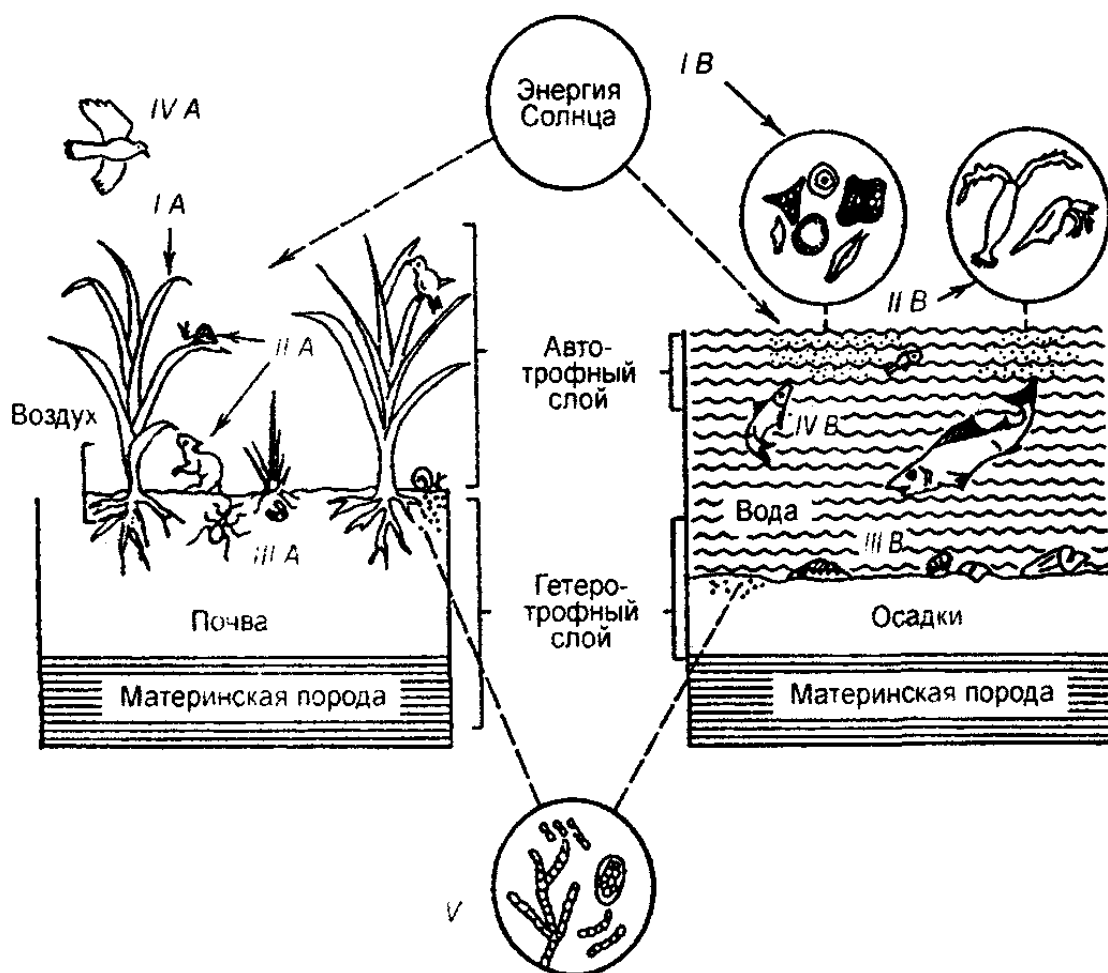


Рис. 12.3. Общая структура наземной (лугопастбищной) и водной (озерной или морской) экосистем (по Ю. Одуму, 1986):

I — автотрофы: А — трава; В — фитопланктон. II — растительные животные: А — насекомые и млекопитающие лугопастбищного сообщества; В — зоопланктон в толще воды. III — детритоядные: А — почвенные беспозвоночные на суше; В — донные беспозвоночные в воде. IV — хищники: А — птицы и другие животные на суше; В — рыбы в воде. V — сапротрофы: разлагающие бактерии и грибы

С биологической точки зрения, в составе экосистемы выделяют следующие компоненты: 1) *неорганические вещества* (C, N, CO₂, H₂O и др.), включающиеся в круговороты; 2) *органические соединения* (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т. д.), связывающие биотическую и абиотические части; 3) *воздушную, водную и субстратную среду*, включающую климатический режим и другие физические факторы; 4) *продуцентов, автотрофных* организмов (зеленые растения, сине-зеленые водоросли, фото- и хемосинтезирующие бактерии), производящих пищу из простых неорганических веществ (рис. 12.4).

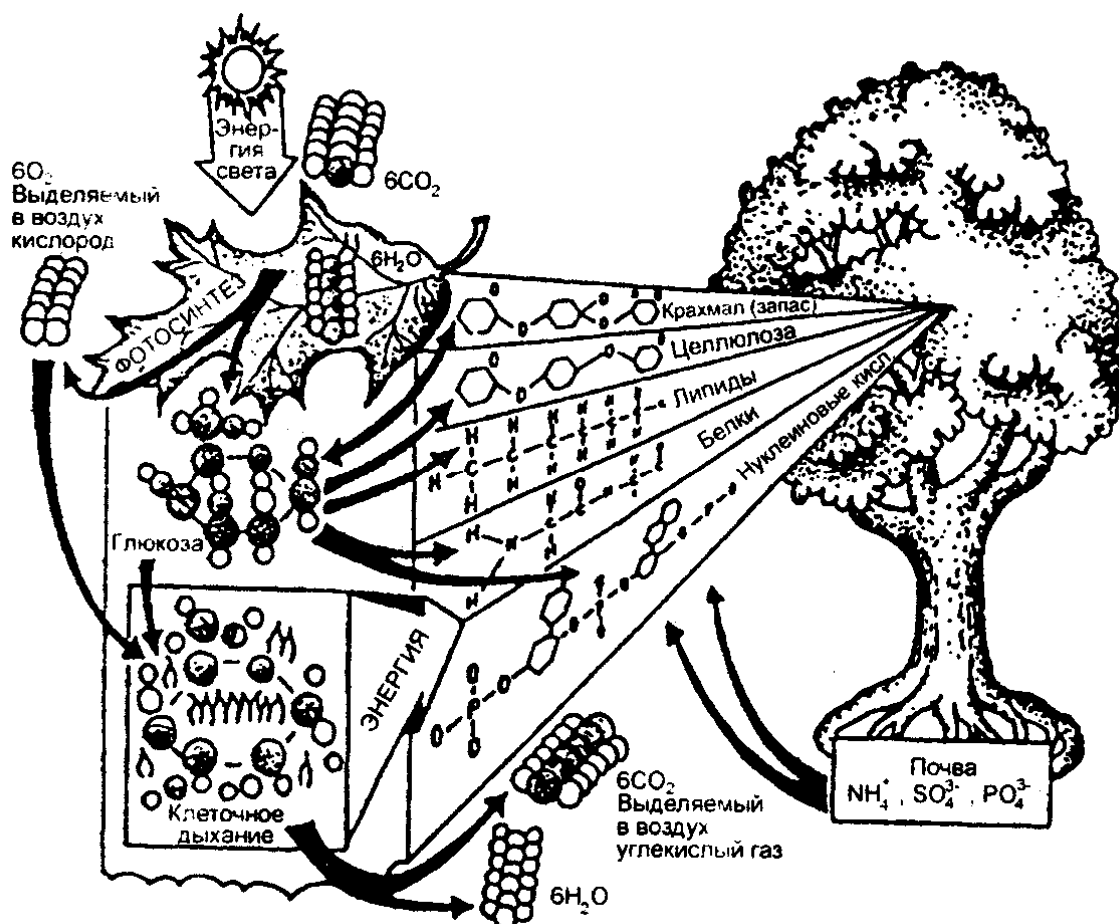


Рис. 12.4. Продуценты (по Б. Небелу, 1993)

5) *консументов*, или фаготрофов (от греч. phagos — пожиратель), — гетеротрофных организмов, главным образом животных, питающихся другими организмами или частицами органического вещества; 6) *редуцентов и детритофагов* — гетеротрофных организмов, в основном бактерий и грибов, получающих энергию либо путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества, выделяющегося самопроизвольно или извлеченного сап-рофитами из растений и других организмов (рис. 12.5).

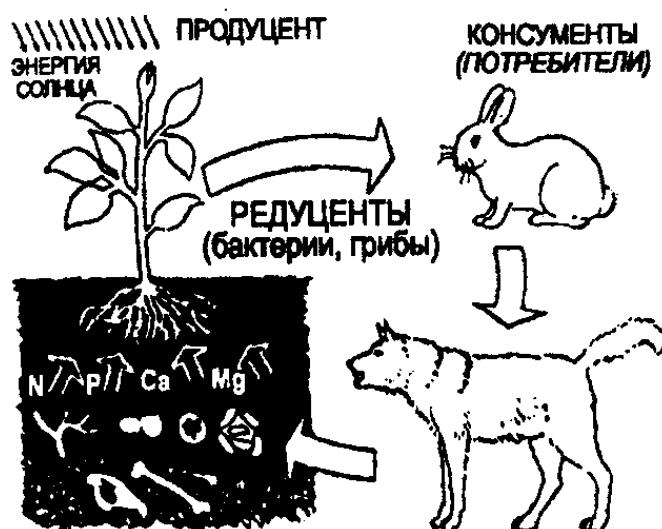


Рис. 12.5. Категории организмов экосистемы

Консументы питаются живым (*биофаги*) или мертвым (*сапрофаги*) органическим материалом. Среди биофагов могут быть выделены *растительноядные* организмы или *фитофаги* (*первичные консументы*, к ним относятся и повреждающие растения вирусы, грибы и паразитические сосудистые растения), *хищники* (*вторичные консументы*, в том числе и паразиты первичных консументов) и конечные потребители — *вершинные хищники* (*третичные консументы*).

В экосистеме пищевые и энергетические связи между категориями всегда однозначны и идут в направлении:

автотрофы → гетеротрофы.

Или в более полном виде:

автотрофы → консументы → редуценты (деструкторы).

Организмы, участвующие в различных процессах круговорота, частично разделены в пространстве. Автотрофные процессы наиболее активно протекают в верхнем ярусе («зеленом поясе»), где доступен солнечный свет. Гетеротрофные процессы наиболее интенсивно протекают в нижнем ярусе («коричневом поясе»), где в почвах и осадках накапливаются органические вещества. Основные функции компонентов экосистемы отчасти разделены и во времени, так как возможен значительный разрыв во времени между продуцированным органического вещества автотроф-ными организмами и его потребление гетеротрофами. В целом же три живых компонента экосистем (продуценты, консументы и редуценты) можно рассматривать как три функциональных царства природы, так как их разделение основано на типе питания и используемом источнике энергии.

12.5. Солнце как источник энергии

Первоисточником энергии для экосистем служит Солнце. Поток энергии по данным Т.А. Акимовой, В.В. Хаскина (1994), посылаемый солнцем к

планете Земля, превышает 20 млн ЭДж в год. Из-за шарообразности земли к границе всей атмосферы подходит только четверть этого потока. Из нее около 70% отражается, поглощается атмосферой, излучается в виде длинноволнового инфракрасного излучения. Падающая на поверхность Земли солнечная радиация составляет 1,54 млн. ЭДж в год. Это огромное количество энергии в 5000 раз превышает всю энергетику человечества конца XX столетия и в 5,5 раза — энергию всех доступных ресурсов ископаемого топлива органического происхождения, накопленных в течение, как минимум, 100 млн. лет.

Поток солнечной энергии на Земле и ее трансформации показаны на рис. 12.6.

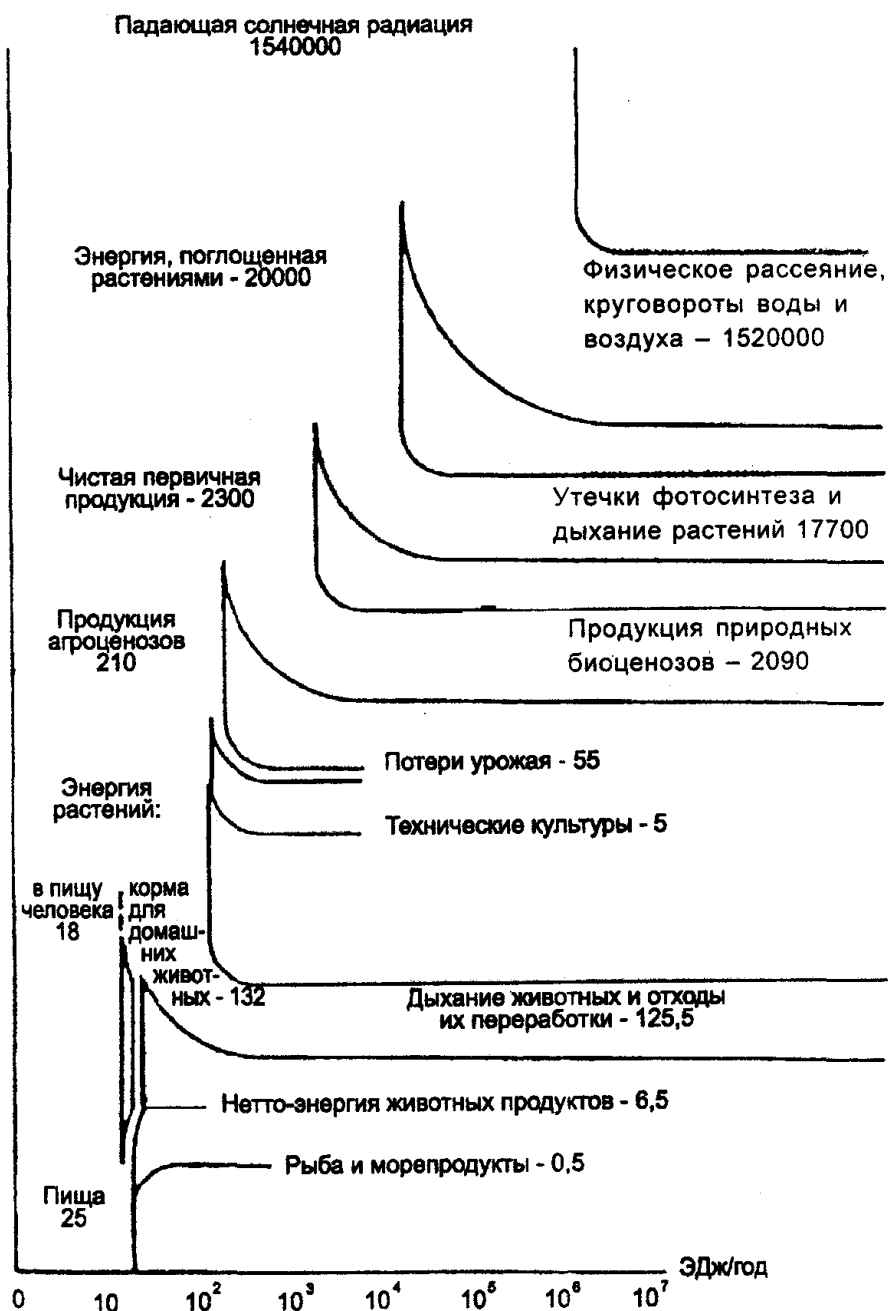


Рис. 12.6. Поток солнечной энергии на Земле и ее трансформации (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Примечание: энергия выражена в ЭДж/год. 1 ЭДж = 10^{18} Дж; горизонтальное сечение потока энергии — логарифмическое. На каждом из этапов трансформации большая часть энергии теряется

Большая часть солнечной энергии, достигающей поверхности планеты, превращается непосредственно в тепло, нагревая воду или почву, от которых в свою очередь нагревается воздух. Это тепло служит движущей силой круговорота воды, воздушных потоков и океанических течений, определяющих погоду, постепенно отдается в космическое пространство, где и теряется.

Для определения места экосистем в этом природном потоке энергии важно представлять, что как бы протяженны и сложны они ни были, ими используется лишь небольшая его часть. Отсюда следует один из основных принципов функционирования экосистем: *они существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно*. Дадим более детально каждую из перечисленных характеристик солнечной энергии.

1. *Избыток*. Растения используют около 0,5% ее количества, достигающего Земли. Если бы люди существовали только за счет солнечной энергии, то они бы использовали еще меньшую ее часть. Следовательно, ее поступающего на землю количества достаточно для удовлетворения потребностей человечества, а так как солнечная энергия в конце концов превращается в тепло, то увеличение ее использования не должно оказывать влияния на динамику биосферы.

2. *Чистота*. Солнечная энергия — «чистая», хотя ядерные реакции, идущие в недрах Солнца и служащие источником ею энергии, и сопровождаются радиоактивным загрязнением, все оно остается в 150 млн км от Земли. В этом ее отличие от энергии, получаемой путем сжигания ископаемого топлива или на атомных электростанциях.

3. *Постоянство*. Солнечная энергия всегда будет доступна в одинаковом, безграничном количестве.

4. *Вечность*. Ученые считают, что Солнце через несколько миллиардов лет погаснет. Однако для нас это не имеет практического значения, так как люди, по современным данным, существуют только около 3 млн лет. Это всего 0,3% миллиарда. Отсюда, если даже через 1 млрд лет жизнь на Земле станет невозможной, у человечества в запасе еще 99,7% этого срока, или каждые 100 лет он будет уменьшаться всего на 0,00001 %.

12.6. Круговороты веществ

Солнечная энергия на Земле вызывает два круговорота веществ: большой, или геологический, наиболее ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы, и малый, биологический (биотический), развивающийся на основе большого и состоящий в непрерывном, циклическом, но неравномерном во времени и пространстве, и сопровождающийся более или менее значительными потерями закономерного перераспределения вещества, энергии и информации в пределах экологических систем различного уровня организации (рис. 12.7).

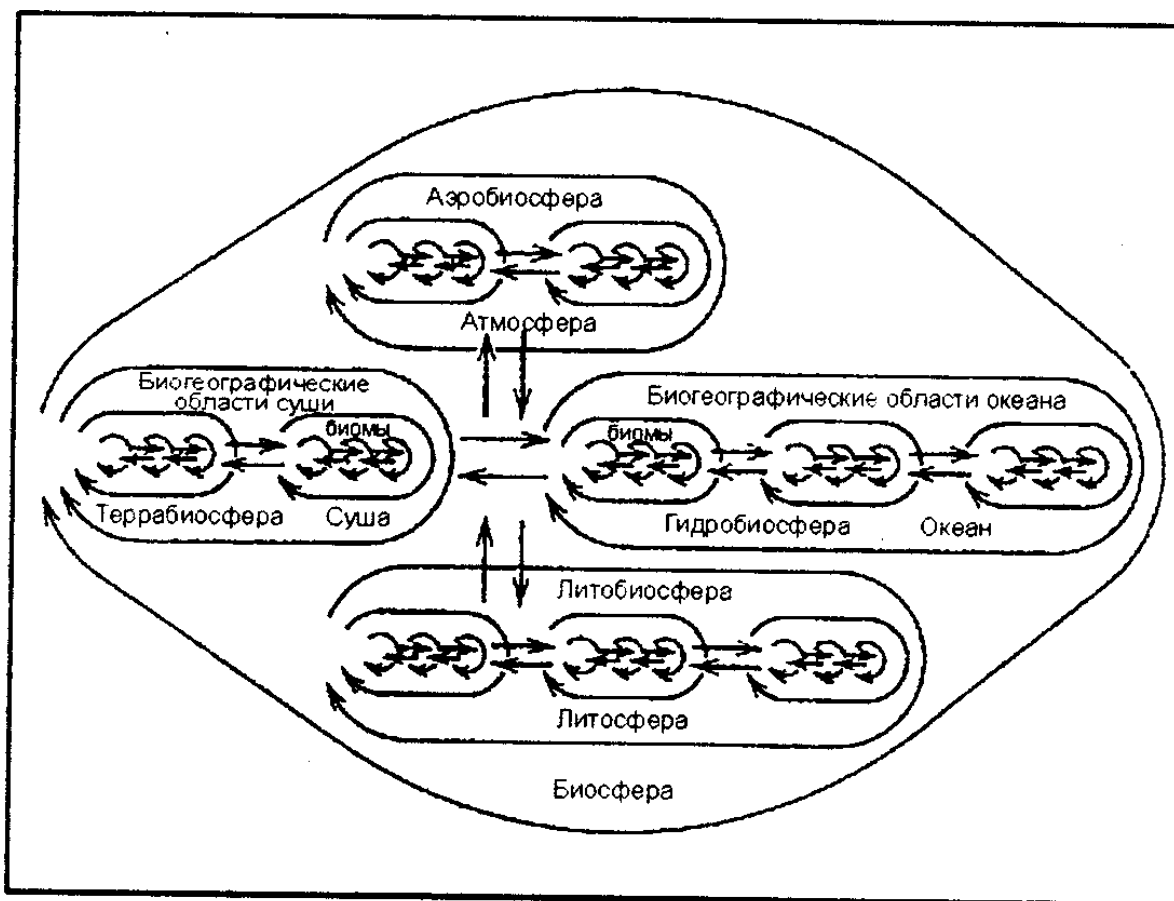


Рис. 12.7. Принципиальная схема биологического (биотического) круговорота (по К. Ф. Реймерсу, 1990)

Оба круговорота взаимно связаны и представляют как бы единый процесс. Подсчитано, что весь кислород, содержащийся в атмосфере, оборачивается через организмы (связывается при дыхании и высвобождается при фотосинтезе) за 2000 лет, углекислота атмосферы совершает круговорот в обратном направлении за 300 лет, а все воды на Земле разлагаются и восстанавливаются путем фотосинтеза и дыхания за 2 000 000 лет (рис. 12.8).

Взаимодействие абиотических факторов и живых организмов экосистемы сопровождается непрерывным круговоротом вещества между биотопом и биоценозом в виде чередующихся то органических, то минеральных соединений. Обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии которого происходят внутри экосистемы, называют *биогеохимическим круговоротом*, или *биогеохимическим циклом*.

Существование подобных круговоротов создает возможность для саморегуляции (гомеостаза) системы, что придает экосистеме устойчивость: удивительное постоянство процентного содержания различных элементов. Здесь действует принцип функционирования экосистем: *получение ресурсов и избавление от отходов происходят в рамках круговорота всех элементов*.

Рассмотрим более подробно основные биохимические круговороты.

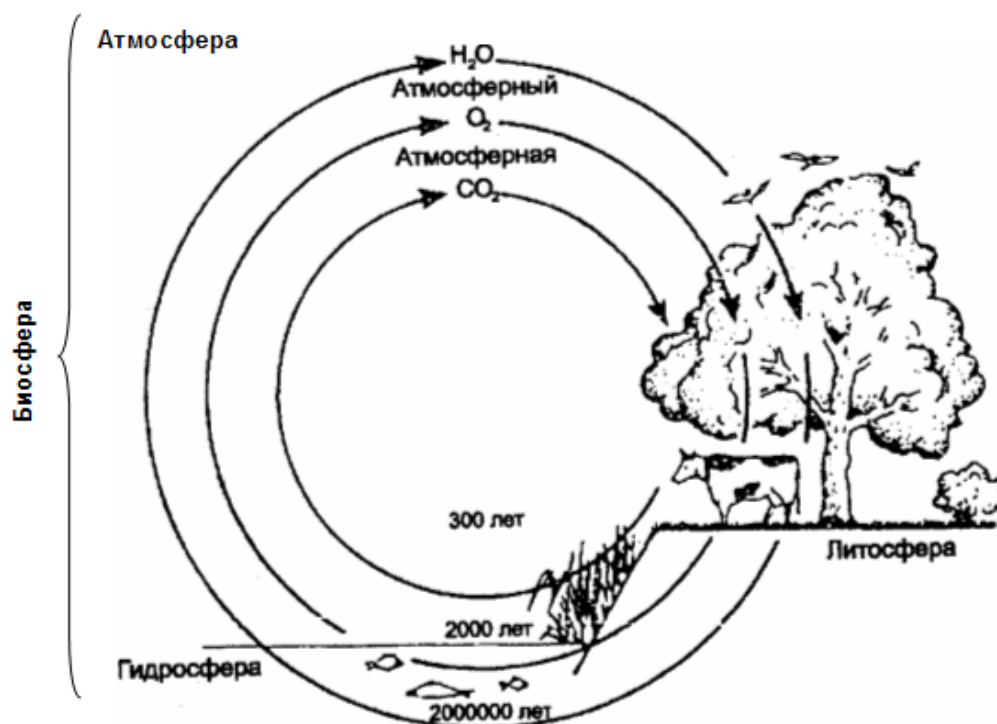


Рис. 12.8. Круговороты воды, кислорода и углекислого газа (по П. Клауду и А. Джибору, 1972)

Круговорот воды. Самый значительный по переносимым массам и по затратам энергии круговорот на Земле — это планетарный гидрологический цикл — круговорот воды (рис. 12.9).

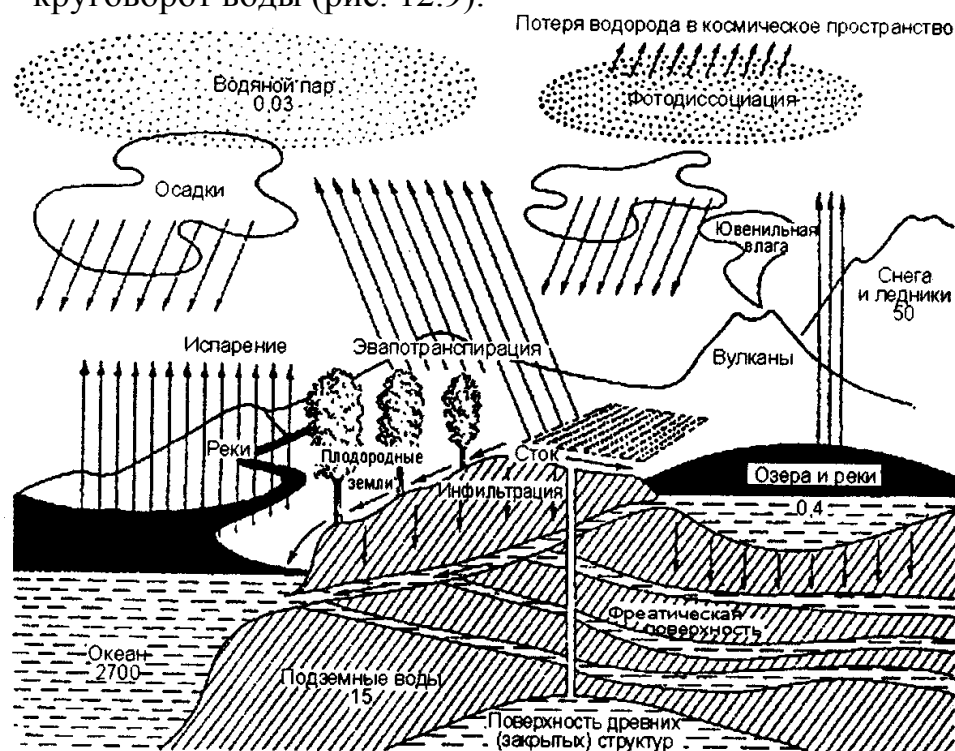


Рис. 12.9. Общая схема круговорота воды (по Ф. Рамаду, 1981)

Примечание: цифры — толщина слоя в метрах

Каждую секунду в него вовлекается 16,5 млн м³ воды и тратится на это более 40 млрд МВт солнечной энергии (Т. А. Акимова, В.В. Хас-кин, 1994). Но данный круговорот — это не только перенос водных масс. Это фазовые превращения, образование растворов и взвесей, выпадение осадков, кристаллизация, процессы фотосинтеза, а также разнообразные химические реакции. В этой среде возникла и продолжается жизнь. Вода — основной элемент, необходимый для жизни. Количественно это самая распространенная неорганическая составляющая живой материи. У человека вода составляет 63% массы тела, грибов — 80%, растений — 80—90%, а у некоторых медуз — 98%.

Вода, как мы увидим несколько позднее, участвующая в биологическом круговороте и служащая источником водорода и кислорода, составляет лишь небольшую часть своего общего объема.

В жидком, твердом и парообразном состояниях вода присутствует во всех трех главных составных частях биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере. Все воды объединяются общим понятием «гидросферы». Составные части гидросферы связаны между собой постоянным обменом и взаимодействием. Вода, непрерывно переходя из одного состояния в другое, совершает малый и большой круговороты. Испарение воды с поверхности океана, конденсация водяного пара в атмосфере и выпадение осадков на поверхность океана образует *малый круговорот*. Когда водяной пар переносится воздушными течениями на сушу, круговорот становится значительно сложнее. При этом часть осадков испаряется и поступает обратно в атмосферу, другая — питает реки и водоемы, но в итоге вновь возвращается в океан речным и подземным стоками, завершая тем самым *большой круговорот*.

Над океанами выпадает 7/9 общего количества осадков, а над континентами 2/9. Замкнутая, бессточная часть суши в 3,5 раза беднее осадками, чем периферийная часть суши. Вода, выпавшая на сушу, в процессе фильтрации через почву обогащается минеральными и органическими веществами, образуя подземные воды. Вместе с поверхностными стоками она поступает в реки, а затем в океаны. Поступление воды в Мировой океан (осадки, приток речных вод) и испарение с его поверхности составляет 1260 мм в год.

Несмотря на относительно малую толщину слоя водяного пара в атмосфере (0,03 м), именно атмосферная влага играет основную роль в циркуляции воды и ее биогеохимическом круговороте. В целом для всего земного шара существует один источник притока воды — атмосферные осадки и один источник расхода — испарение, составляющее 1030 мм в год. В жизнедеятельности растений огромная роль воды принадлежит осуществлению процессов фотосинтеза (важнейшее звено биологического круговорота) и транспирации. Подсчитано, что 1 га елового леса на влажной почве за год транспирирует около 4000 м³ воды, что эквивалентно 378 мм осадков. Суммарное испарение, или масса воды, испаряемой древесной или травянистой растительностью, испарившейся с поверхности почвы, играет важную роль в

круговороте воды на континентах. Грунтовые воды, проникая сквозь ткани растений в процессе транспирации, приносят минеральные соли, необходимые для жизнедеятельности самих растений.

Данные по круговороту воды на земном шаре позволяют вычислить активность водообмена в различных частях гидросферы (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Активность водообмена в гидросфере (по М. И. Львовичу, 1986)

Часть гидросферы	Объем (с округлением), тыс. км ³	Активность водообмена, число лет
Океан	1370000	3000
Подземные воды	60000	5000
В т. ч. зоны активного водообмена	4000	300
Полярные ледники	24000	8000
Поверхностные воды суши	280	7
Реки	1,2	0,03
Почвенная влага	80	1
Пары атмосферы	14	0,027
Вся гидросфера	1454000	2800

Наиболее замедленной частью круговорота воды является деятельность полярных ледников. Круговорот здесь совершается за 8,0 тыс. лет, что отражает медленное движение и процесс таяния ледниковых масс. Подземные воды обновляются за 5,0 тыс. лет, воды океанов — за 3,0 тыс. лет, атмосферные воды — за 10 суток. Наибольшей активностью обмена, после атмосферной влаги, отличаются речные воды, которые сменяются в среднем каждые 11 суток. Чрезвычайно быстрая возобновляемость основных источников пресных вод и опреснение вод в процессе круговорота являются отражением глобального процесса динамики вод на земном шаре. Происходящий в природе круговорот самоочищающейся воды — вечное движение, обеспечивающее жизнь на Земле.

Пресной воды на Земле очень мало. Вместе с зоной активного водоснабжения подземными водами это лишь 300 млн км³, причем 97% находится в ледниках Антарктиды, Гренландии, в полярных зонах и горах. Однако естественный круговорот воды гарантирует, что без воды Земля не останется.

Биотический (биологический) круговорот. Под биотическим (биологическим) круговоротом понимается циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами (рис. 12.10). По определению Н. П. Ремезова, Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич, биотический (биологический) круговорот — это поступление химических элементов из почвы, воды и атмосферы в живые организмы, превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их обратно в процессе жизнедеятельности с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав экосистемы (Н. Ф. Реймерс, 1990).

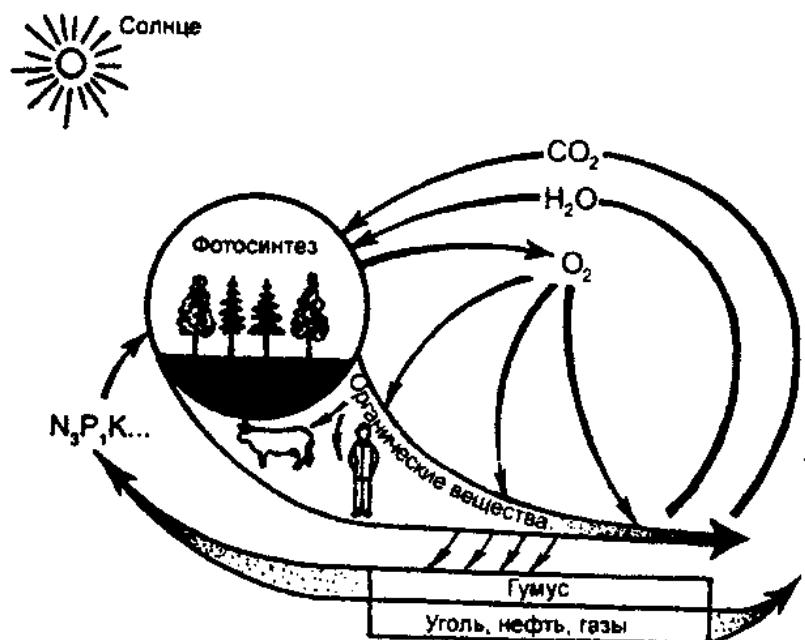


Рис. 12.10. Биотический (биологический) круговорот веществ в экосистеме (по А. И. Воронцову, Н. З. Харитоновой, 1979)

Сейчас же мы представим биотический круговорот в циклической форме (рис. 12.11).

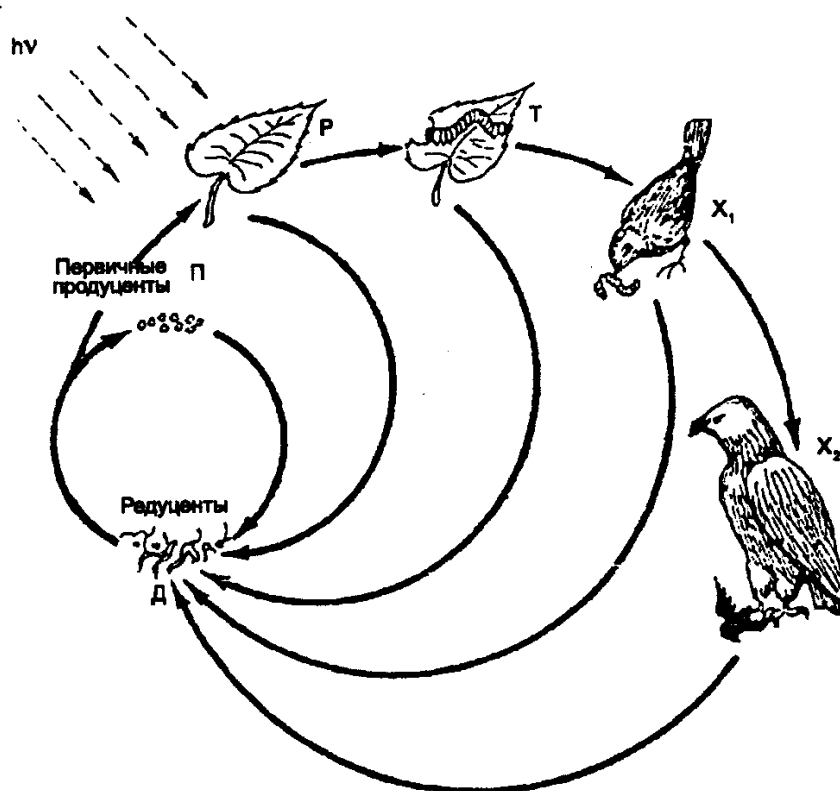


Рис. 12.10. Структурные циклы биотического круговорота
(по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Пояснения: внутреннее малое кольцо — первичный биотический круговорот с участием примитивных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д); Р — растения; Т — первичные консументы (растительноядные животные); Х, и Х, — вторичные и третичные консументы (хищники). Все циклы замыкаются редуцентами

Первичный биотический круговорот по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) состоял из примитивных одноклеточных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д). Микроорганизмы способны быстро размножаться и приспосабливаться к разным условиям, например, использовать в своем питании всевозможные субстраты — источники углерода. Высшие организмы такими способностями не обладают. В целостных экосистемах они могут существовать в виде надстройки на фундаменте микроорганизмов.

Вначале развиваются многоклеточные растения (Р) — высшие продуценты. Вместе с одноклеточными они создают в процессе фотосинтеза органическое вещество, используя энергию солнечного излучения. В дальнейшем подключаются первичные консументы — растительноядные животные (Т), а затем и плотоядные консументы. Нами был рассмотрен биотический круговорот суши. Это в полной мере относится и к биотическому круговороту водных экосистем, например океана.

Все организмы занимают определенное место в биотическом круговороте и выполняют свои функции по трансформации достающихся им ветвей потока энергии и по передаче биомассы. Всех объединяет, обезличивает их вещества и замыкает общий круг система одноклеточных редуцентов (деструкторов). В абиотическую среду биосферы они возвращают все элементы, необходимые для новых и новых оборотов.

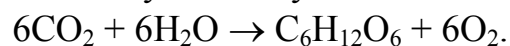
Следует подчеркнуть наиболее важные особенности биотического круговорота.

Фотосинтез относится к мощному естественному процессу, вовлекающему ежегодно в круговорот огромные массы вещества биосферы и определяющему ее высокий кислородный потенциал. Он выступает регулятором основных геохимических процессов в биосфере и фактором, определяющим наличие свободной энергии верхних оболочек земного шара. Фотосинтез представляет собой химическую реакцию, которая протекает, как известно, за счет солнечной энергии при участии хлорофилла зеленых растений:



За счет углекислоты и воды синтезируется органическое вещество и выделяется свободный кислород. Прямыми продуктами фотосинтеза являются различные органические соединения, а в целом процесс фотосинтеза носит довольно сложный характер.

Глюкоза является простейшим продуктом фотосинтеза, образование которой совершается следующим путем:



Помимо фотосинтеза с участием кислорода (так называемый

кислородный фотосинтез) следует остановиться и на бескислородном фотосинтезе, или хемосинтезе (рис. 12.12).

К хемосинтезирующим организмам относятся нитрификаторы, карбоксидобактерии, серобактерии, тионовые железобактерии, водородные бактерии. Они называются так по субстратам окисления, которыми могут быть NH_3 , NO_2 , CO , H_2S , S , Fe^{2+} , H_2 . Некоторые виды — облигатные хемолитоавтотрофы, другие — факультативные. К последним относятся карбоксидобактерии и водородные бактерии. Хемосинтез характерен для глубоководных гидротермальных источников.

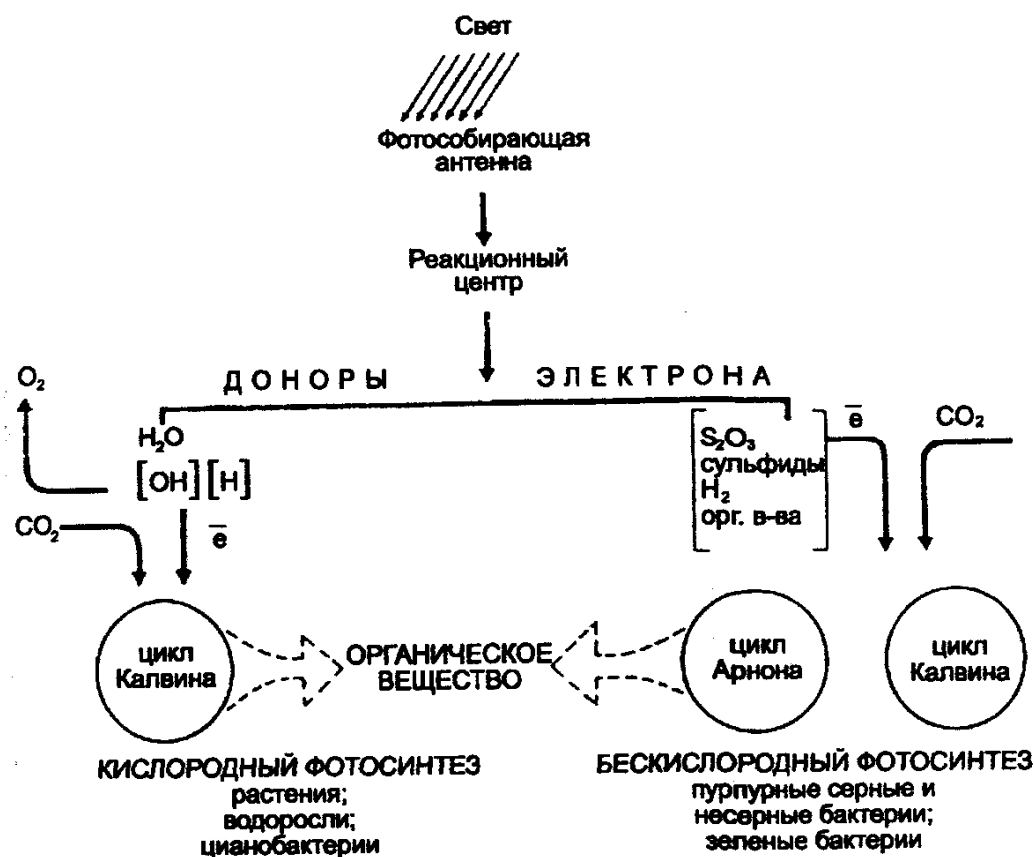
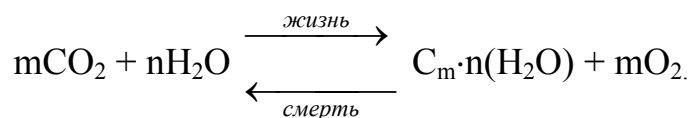


Рис. 12.12. Схема фотосинтеза у растений, водорослей и бактерий

Фотосинтез происходит за немногим исключением на всей поверхности Земли, создает огромный геохимический эффект и может быть выражен как количество всей массы углерода, вовлекаемой ежегодно в построение органического — живого вещества всей биосферы. В общий круговорот материи, связанной с построением путем фотосинтеза органического вещества, вовлекаются и такие химические элементы, как N, P, S, а также металлы — K, Ca, Mg, Na, Al.

При гибели организма происходит обратный процесс — разложение органического вещества путем окисления, гниения и т. д. с образованием конечных продуктов разложения. Следовательно, общую реакцию фотосинтеза можно выразить в глобальном масштабе следующим образом:



В биосфере Земли этот процесс приводит к тому, что *количество биомассы живого вещества приобретает тенденцию к определенному постоянству*. Биомасса экосферы ($2 \cdot 10^{12}$ т) на семь порядков меньше массы земной коры ($2 \cdot 10^{19}$ т). Растения Земли ежегодно продуцируют органическое вещество, равное $1,6 \cdot 10^{11}$ т, или 8% биомассы экосферы. Деструкторы, составляющие менее 1% суммарной биомассы организмов планеты, перерабатывают массу органического вещества, в 10 раз превосходящую их собственную биомассу. В среднем период обновления биомассы равен 12,5 годам. Допустим, что масса живого вещества и продуктивность биосферы были такими же от кембрия до современности (530 млн лет), то суммарное количество органического вещества, которое прошло через глобальный биотический круговорот и было использовано жизнью на планете, составит $2 \cdot 10^{12} \cdot 5,3 \cdot 10^8 / 12,5 = 8,5 \cdot 10^{19}$ т, что в 4 раза больше массы земной коры. По поводу данных расчетов Н. С. Печуркин (1988) писал: «Мы можем утверждать, что атомы, составляющие наши тела, побывали в древних бактериях, и в динозаврах, и в мамонтах».

Закон биогенной миграции атомов В. И. Вернадского гласит: «Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2 и т. д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории».

В. И. Вернадский в 1928—1930 гг. в своих глубоких обобщениях относительно процессов в биосфере дал представление о пяти основных биогеохимических функциях живого вещества.

Первая функция — газовая. Большинство газов верхних горизонтов планеты порождено жизнью. Подземные горючие газы являются продуктами разложения органических веществ растительного происхождения, захороненных ранее в осадочных толщах. Наиболее распространенный — это болотный газ — метан (CH_4).

Вторая функция — концентрационная. Организмы накапливают в своих телах многие химические элементы. Среди них на первом месте стоит углерод. Содержание углерода в углях по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем для земной коры. Нефть — концентратор углерода и водорода, так как имеет биогенное происхождение. Среди металлов по концентрации первое место занимает кальций. Целые горные хребты сложены остатками животных с известковым скелетом. Концентраторами кремния являются диатомовые водоросли, радиолярии и некоторые губки, йода — водоросли ламинарии, железа и марганца — особые бактерии. Позвоночными животными

накапливается фосфор, сосредотачиваясь в их костях.

Третья функция — окислительно-восстановительная. В истории многих химических элементов с переменной валентностью она играет важную роль. Организмы, обитающие в разных водоемах, в процессе своей жизнедеятельности и после гибели регулируют кислородный режим и тем самым создают условия, благоприятные для растворения или же осаждения ряда металлов с переменной валентностью (V, Mn, Fe).

Четвертая функция — биохимическая. Она связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве. Размножение приводит к быстрому распространению живых организмов, «расползанию» живого вещества в разные географические области.

Пятая функция — это биогеохимическая деятельность человечества, охватывающая все возрастающее количество вещества земной коры для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Данная функция занимает особое место в истории земного шара и заслуживает внимательного отношения и изучения. Таким образом, все живое население нашей планеты — живое вещество — находится в постоянном круговороте биофильных химических элементов. Биологический круговорот веществ в биосфере связан с большим геологическим круговоротом (рис. 12.13).

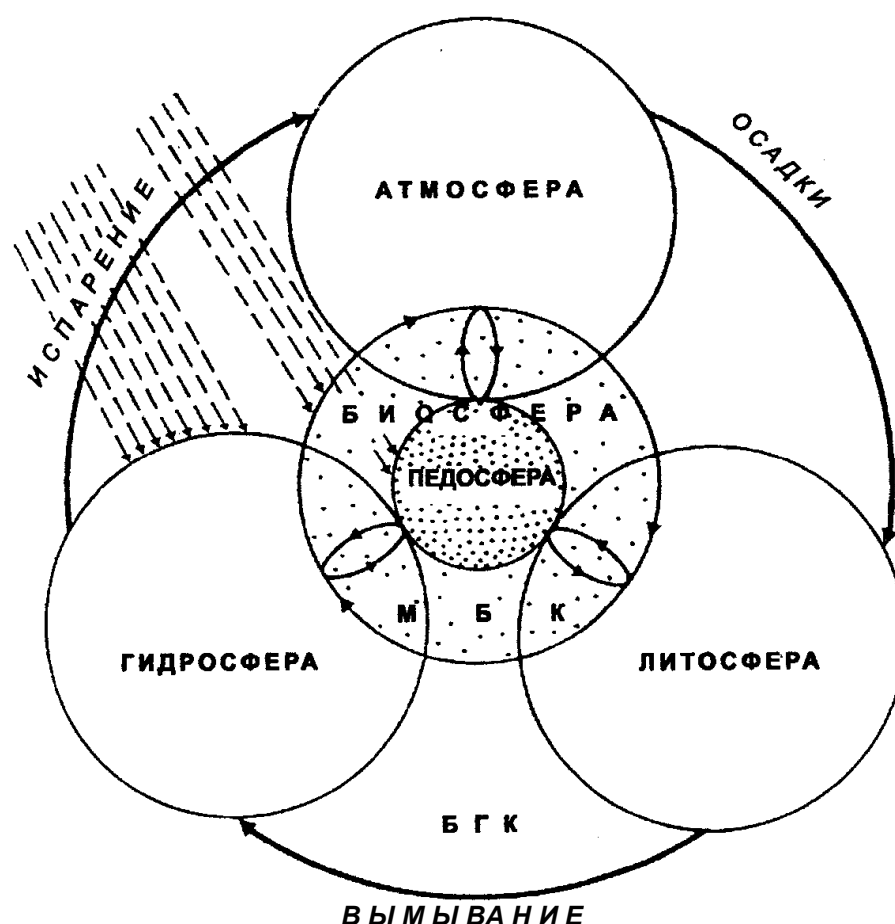


Рис. 12.13. Взаимосвязь малого биологического круговорота веществ в биосфере с большим геологическим круговоротом

Поскольку речь идет о колоссальном числе индивидуальных участников этих процессов, которые не сопряжены жесткими функциональными связями, то пригнанность компонентов биотического круговорота — явление совершенно исключительное. Круговорот полностью замкнут (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 1994), когда существует точное равенство сумм прямых и обратных расходов: $\sum q_{12} = \sum q_{21}$. Если же в каком-то из процессов наблюдаются прирост или утечка («дефект замкнутости») Δq , то *замкнутость круговорота* выражается так:

$$\delta_q = (g - \Delta g)/q \quad (12.1)$$

Величина *разомкнутости* круговорота:

$$\beta_q = 1 - \delta = \Delta q/q \quad (12.2)$$

Эти величины можно выразить и иначе, сопоставляя продолжительность поддержания равенства расходов T со временем истощения резервуара ΔT при полной остановке процесса наполнения:

$$\delta_T = (T - \Delta T)/T. \quad (12.3)$$

Соответственно:

$$\beta_T = 1 - \delta_T = \Delta T/T \quad (12.4)$$

Несомненно, высокий уровень системной организации и регуляции мог быть выработан и отшлифован миллиардолетней эволюцией.

Биологический круговорот различается в разных природных зонах и классифицируется по комплексу показателей: биомассе растений, опаду, подстилке, количеству закрепленных в биомассе элементов и т. д. (табл. 12.3.)

Таблица 12.3

**Показатели биологического круговорота в разных природных зонах
(по Родину и Базилевич, 1965)**

Показатели	Тундра		Лесная зона		Степи		Пустыни	
	аркти- ческа- я	кустар- ничко- вая	ельни- ки	дубрав- ы	лугов- ые	сухие	полу- кустар- - ничко- вые	эфемеро- вополук- устарни- ч-ковые
Биомасса, ц/га	50	280	3000	4000	250	100	4	125
Доля подземных органов, %	70-	-83	22-	-24	68-	-85	3	до 95
Опад, зеленые части, ц/га	2,6	9	30	40	80	15	до 95	18
Подстилка, войлок, ц/га	35	35	300	150	120	15	1	—
Подстильно-опадочный коэффициент (ПОК)	14	9	1	4	1	1	—	—
		2	0		,5			

Общая биомасса наиболее высока в лесной зоне, а доля подземных органов в лесах наименьшая. Это подтверждает индекс интенсивности

биологического круговорота — величина отношения массы подстилки к той части опада, которая ее формирует (табл. 12.4).

Таблица 12.4

Индекс интенсивности биологического круговорота

Тип экосистемы	Индекс скорости круговорота
Заболоченные леса	>50
Кустарничковые тундры	20—50
Темнохвойные леса	10—17
Широколиственные леса	3—4
Саванны	$He > 0,2$
Влажные тропические леса	$He > 0,1$

Круговорот углерода. Из всех биогеохимических циклов круговорот углерода, без сомнения, самый интенсивный. С высокой скоростью углерод циркулирует между различными неорганическими средствами и через посредство пищевых сетей внутри сообществ живых организмов (рис. 12.14).

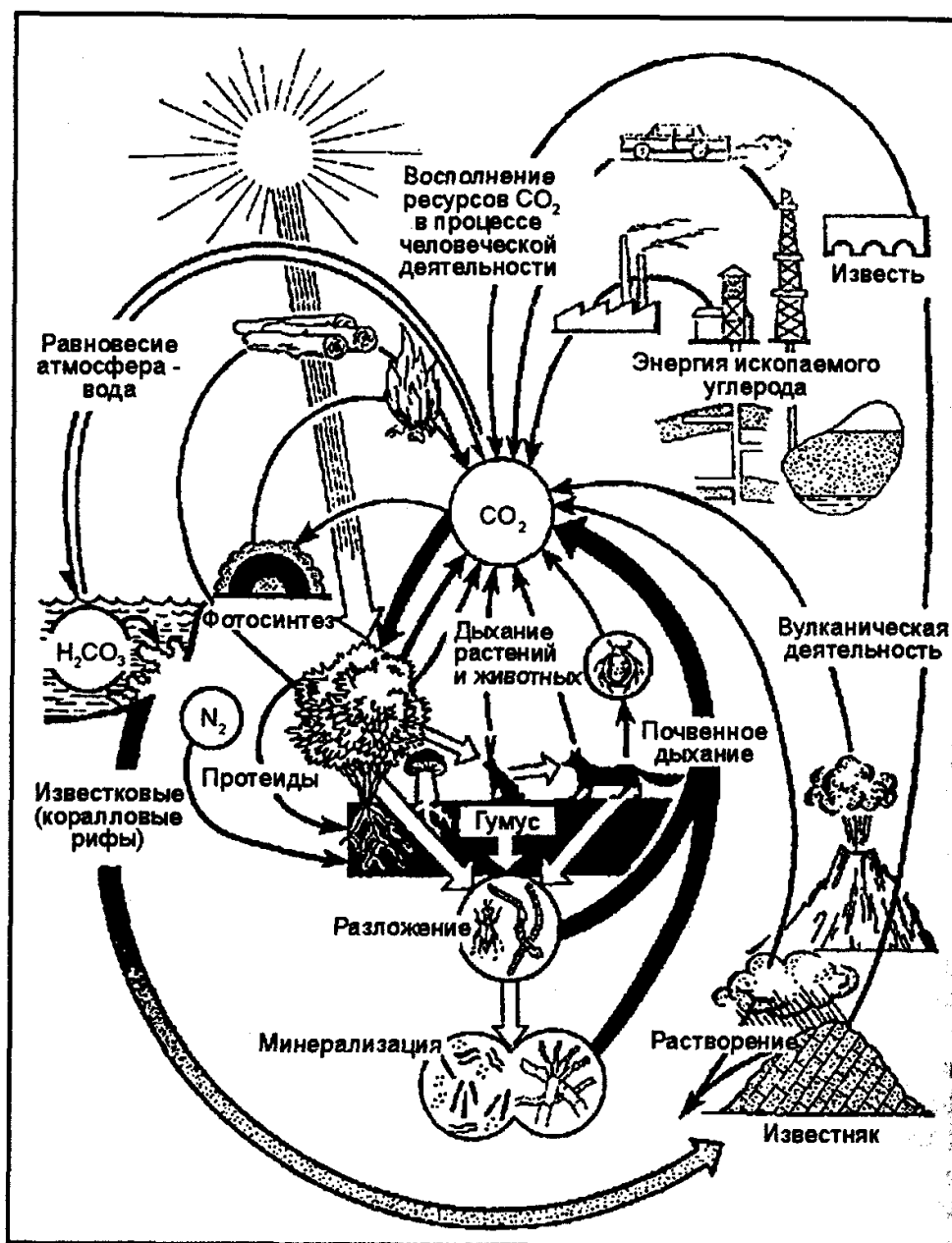


Рис. 12.14. Круговорот углерода (по И. П. Герасимову, 1980)

В круговороте углерода определенную роль играют CO и CO_2 . Часто в биосфере Земли углерод представлен наиболее подвижной формой CO_2 . Источником первичной угольной кислоты биосферы является вулканическая деятельность, связанная вековой дегазацией мантии и нижних горизонтов земной коры.

Миграция CO_2 в биосфере протекает двумя путями.

Первый путь заключается в поглощении его в процессе фотосинтеза с образованием глюкозы и других органических веществ, из которых построены все растительные ткани. В дальнейшем они переносятся по пищевым цепям и образуют ткани всех остальных живых существ экосистемы. Следует заметить, что вероятность отдельно взятого углерода «побывать» в течение одного цикла в составе многих организмов мала, потому что при каждом переходе с одного трофического уровня на другой велика возможность, что содержащая его органическая молекула будет расщеплена в процессе клеточного дыхания для

получения энергии. Атомы углерода при этом вновь поступают в окружающую среду в составе углекислого газа, таким образом завершив один цикл и приготовившись начать следующий. В пределах суши, где имеется растительность, углекислый газ атмосферы в процессе фотосинтеза поглощается в дневное время. В ночное время часть его выделяется растениями во внешнюю среду. С гибелью растений и животных на поверхности происходит окисление органических веществ с образованием CO_2 .

Атомы углерода возвращаются в атмосферу и при сжигании органического вещества. Важная и интересная особенность круговорота углерода состоит в том, что в далекие геологические эпохи, сотни миллионов лет назад, значительная часть органического вещества, созданного в процессах фотосинтеза, не использовалась ни консументами, ни редуцентами, а накапливалась в литосфере в виде *ископаемого топлива*; нефти, угля, горючих сланцев, торфа и др. Это ископаемое топливо добывается в огромных количествах для обеспечения энергетических потребностей нашего индустриального общества. Сжигая его, мы в определенном смысле завершаем круговорот углерода.

По второму пути миграция углерода осуществляется созданием карбонатной системы в различных водоемах, где CO_2 переходит в H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . С помощью растворенного в воде кальция (или магния) происходит осаждение карбонатов (CaCO_3) биогенным и абиогенным путями. Образуются мощные толщи известняков. По А. Б. Ронову, отношение захороненного углерода в продуктах фотосинтеза к углероду в карбонатных породах составляет 1:4. Существует наряду с большим круговоротом углерода и ряд малых его круговоротов на поверхности суши и в океане.

В целом же без антропогенного вмешательства содержание углерода в биогеохимических резервуарах: биосфере (биомасса+почва и детрит), осадочных породах, атмосфере и гидросфере, — сохраняется с высокой степенью постоянства. По Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994), постоянный обмен углеродом, с одной стороны, между биосферой, а с другой — между атмосферой и гидросферой, обусловлен газовой функцией живого вещества — процессами фотосинтеза, дыхания и деструкции, и составляет около $6 \cdot 10^{10}$ т/год. Существует поступление углерода в атмосферу и гидросферу и при вулканической деятельности в среднем $4,5 \cdot 10^6$ т/год. Общая масса углерода в ископаемом топливе (нефть, газ, уголь и др.) оценивается в $3,2 \cdot 10^{15}$ т, что соответствует средней скорости накопления 7 млн т/год. Это количество по сравнению с массой циркулирующего углерода незначительное и как бы выпадало из круговорота, терялось в нем. Отсюда степень разомкнуто-ности (несовершенства) круговорота составляет 10^{-4} , или 0,01%, а соответственно степень замкнутости — 99,99%. Это означает, с одной стороны, что каждый атом углерода принимал участие в цикле десятки тысяч раз, прежде чем выпал из круговорота, оказался в недрах. А с другой стороны — потоки синтеза и распада органических веществ в биосфере с очень высокой точностью подогнаны друг к другу.

В. Г. Горшковым (1988) на основе расчетов делается важное заключение:

«Потоки синтеза и разложение органических веществ совпадают с точностью 10^{-4} и скоррелированы с точностью 10^{-4} . Скоррелированность потоков синтеза и распада с указанной точностью доказывает наличие *биологической регуляции окружающей среды*, ибо случайная связь величин с такой точностью в течение миллионов лет невероятна».

В постоянном круговороте находится 0,2% мобильного запаса углерода. Углерод биомассы обновляется за 12, атмосферы — за восемь лет. Огромный контраст между краткостью данных периодов, постоянством и возрастом биосферы подтверждает высочайшую сбалансированность «мира углерода».

Круговорот кислорода. Кислород (O_2) играет важную роль в жизни большинства живых организмов на нашей планете. В количественном отношении это главная составляющая живой материи. 349

Например, если учитывать воду, которая содержится в тканях, то тело человека содержит 62,8% кислорода и 19,4% углерода. В целом в биосфере этот элемент по сравнению с углеродом и водородом является основным среди простых веществ. В пределах биосферы происходит быстрый обмен кислорода с живыми организмами или их остатками после гибели. Растения, как правило, производят свободный кислород, а животные являются его потребителями путем дыхания. Будучи самым распространенным и подвижным элементом на Земле, кислород не лимитирует существование и функции экосферы, хотя доступность кислорода для водных организмов может временно и ограничиться. Круговорот кислорода в биосфере необычайно сложен, так как с ним в реакцию вступает большое количество органических и неорганических веществ. В результате возникает множество эпициклов, происходящих между литосферой и атмосферой или между гидросферой и двумя этими средами. Круговорот кислорода в некотором отношении напоминает обратный круговорот углекислого газа. Движение одного происходит в направлении, противоположном движению другого (рис. 12.15).

Потребление атмосферного кислорода и его возмещение первичными продуцентами происходит сравнительно быстро. Так, для полного обновления всего атмосферного кислорода требуется 2000 лет. В наше время фотосинтез и дыхание в природных условиях, без учета деятельности человека, с большой точностью уравнивают друг друга. В связи с этим накопления кислорода в атмосфере не происходит, и его содержание (20,946%) остается постоянным.

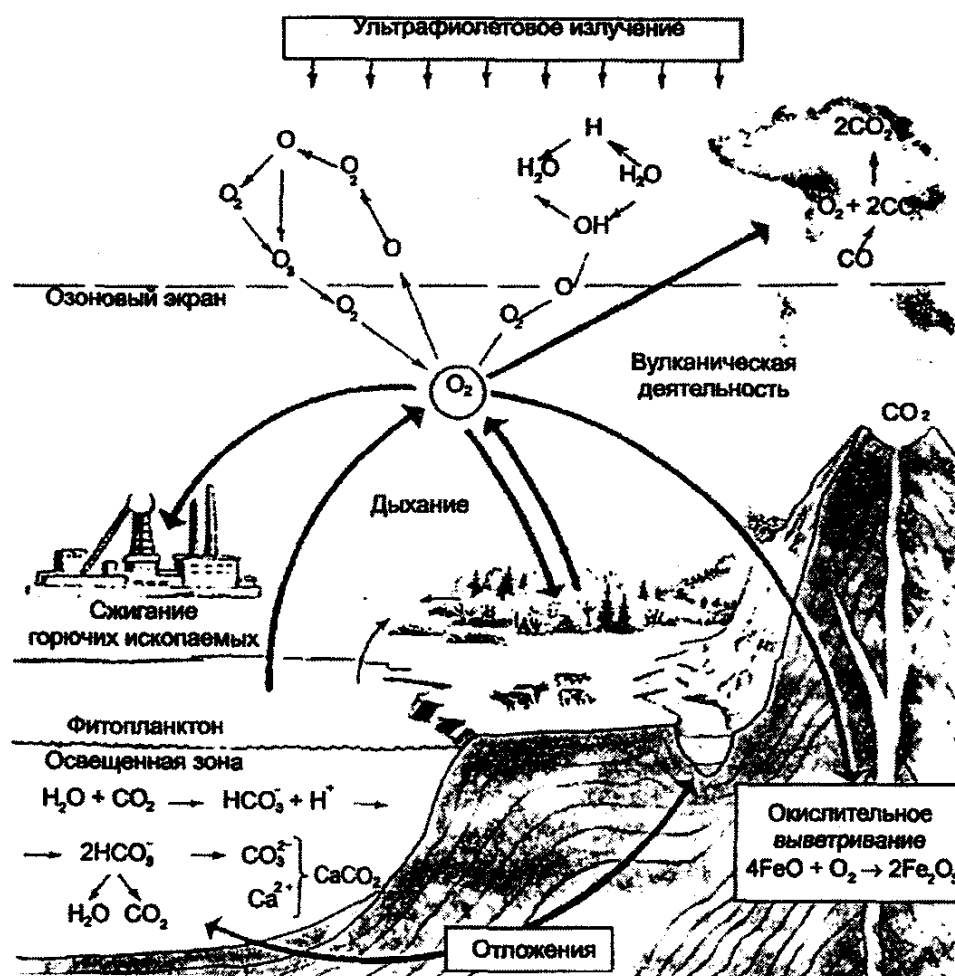
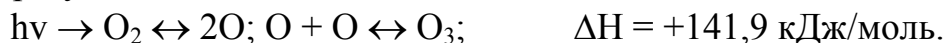


Рис. 12.15. Круговорот кислорода (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

В верхних слоях атмосферы при действии ультрафиолетовой радиации на кислород образуется *озон* — O_3 :



Здесь $h\nu$ — квант света с длиной волны не более 225 нм.

На образование озона тратится около 5% поступающей к Земле солнечной энергии — около $8,6 \cdot 10^{15}$ Вт. Реакции легко обратимы. При распаде озона эта энергия выделяется, за счет чего в верхних слоях атмосферы поддерживается высокая температура. Средняя концентрация озона в атмосфере составляет около 10^{-6} об. %; максимальная концентрация O_3 — до $4 \cdot 10^{-6}$ об. % достигается на высотах 20—25 км (ТА. Акимова, В.В. Хаскин (1998).

Озон служит своеобразным УФ-фильтром: задерживает значительную часть жестких ультрафиолетовых лучей. Вероятно, образование озонового слоя было одним из условий выхода жизни из океана и заселения суши.

Большая часть кислорода, вырабатываемого в течение геологических эпох, не оставалась в атмосфере, а фиксировалась литосферой в виде карбонатов, сульфатов, окислов железа и т. п. Эта масса составляет $590 \cdot 10^{14}$ т против $39 \cdot 10^{14}$ т кислорода, который циркулирует в биосфере в виде газа или

сульфатов, растворенных в континентальных и океанических водах.

Круговорот азота. Азот — незаменимый биогенный элемент, так как он входит в состав белков и нуклеиновых кислот. Круговорот азота один из самых сложных, поскольку включает как газовую, так и минеральную фазу, и одновременно самых идеальных круговоротов (рис. 12.16).

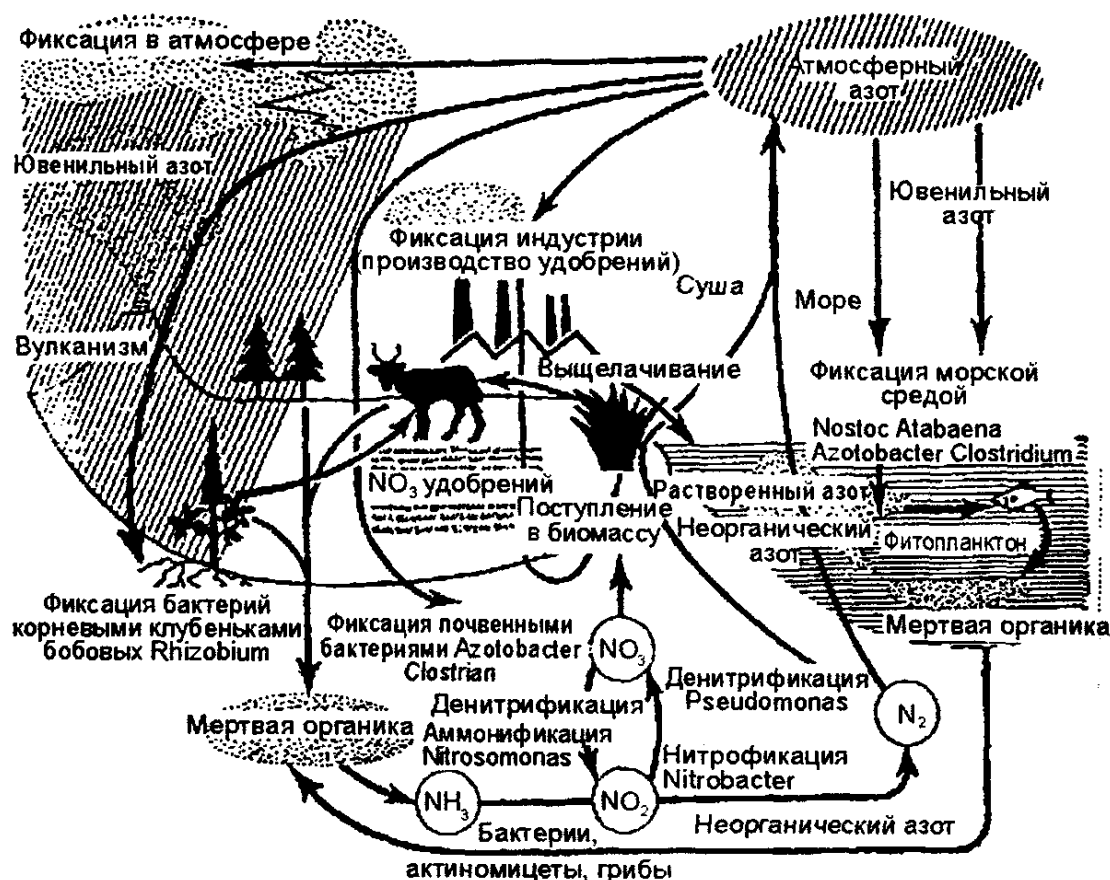


Рис. 12.16. Круговорот азота (по Ф. Рамаду, 1981)

Круговорот азота тесно связан с круговоротом углерода. Как правило, азот следует за углеродом, вместе с которым он участвует в образовании всех протеиновых веществ.

Атмосферный воздух, содержащий 78% азота, является неисчерпаемым резервуаром. Однако основная часть живых организмов не может непосредственно использовать этот азот. Он должен быть предварительно связан в виде химических соединений. Например, для усвоения азота растениями необходимо, чтобы он входил в состав ионов аммония (NH_4^+) или нитрата (NO_3^-).

Газообразный азот непрерывно поступает в атмосферу в результате работы денитрофицирующих бактерий, а бактерии-фиксаторы вместе с сине-зелеными водорослями (цианофитами) постоянно поглощают его, преобразуя в нитраты.

Важную роль в превращении газообразного азота в аммонийную форму в ходе так называемой *азотофиксации* играют бактерии из рода *Rhizobium*, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений. Растения обеспечивают

бактерий местообитанием и пищей (сахара), получая взамен от них доступную форму азота. По пищевым цепям органический (входящий в состав органических молекул) азот передается от бобовых другим организмам экосистемы. В процессе клеточного дыхания белки и другие содержащие азот органические соединения расщепляются, азот выделяется в среду большей частью в аммонийной форме (NH_4^+). Некоторые бактерии способны переводить ее и в нитратную (NO_3^-) форму. Отметим, что обе эти формы азота усваиваются *любыми* растениями. Азот, таким образом, совершает круговорот как минеральный биоген. Однако такая минерализация обратима, так как почвенные бактерии постоянно превращают нитраты снова в газообразный азот.

В водной среде также существуют различные виды нитрофицирующих бактерий, но главная роль в фиксации атмосферного азота здесь принадлежит многочисленным видам способных к фотосинтезу сине-зеленых водорослей из родов *Anabaena*, *Nostoc*, *Frichodesmium* и др.

Круговорот азота четко прослеживается и на уровне деструкторов. Протеины и другие формы органического азота, содержащиеся в растениях и животных после их гибели, подвергаются воздействию гетеротрофных бактерий, актиномицетов, грибов (биоредуцирующих микроорганизмов), которые вырабатывают необходимую им энергию восстановлением этого органического азота, преобразуя его таким образом в аммиак.

В почвах происходит процесс *нитрификации*, состоящий из цепи реакций, где при участии микроорганизмов осуществляется окисление иона аммония (MNH_4^+) до нитрита (NO_2^-) или нитрита до нитрата (NO_3^-). Восстановление нитритов и нитратов до газообразных соединений молекулярного азота (N_2) или окиси азота (N_2O) составляет сущность процесса *денитрификации*.

Образование нитратов неорганическим путем в небольших количествах постоянно происходит и в атмосфере: путем связывания атмосферного азота с кислородом в процессе электрических разрядов во время гроз, а затем выпадением с дождями на поверхность почвы.

Еще одним источником атмосферного азота являются вулканы, компенсирующие потери азота, выключенного из круговорота при седиментации или осаждении его на дно океанов.

В целом же среднее поступление нитратного азота абиотического происхождения при осаждении из атмосферы в почву не превышает 10 кг (год/га), свободные бактерии дают 25 кг (год/га), в то время как симбиоз *Rhizobium* с бобовыми растениями в среднем продуцирует 200 кг (год/га). Преобладающая часть связанного азота перерабатывается денитрифицирующими бактериями в N и вновь возвращается в атмосферу. Лишь около 10% аммонифицированного и нитрифицированного азота поглощается из почвы высшими растениями и оказывается в распоряжении многоклеточных представителей биоценозов.

Круговорот фосфора. Круговорот фосфора в биосфере связан с процессами обмена веществ в растениях и животных. Этот важный и

необходимый элемент протоплазмы, содержащийся в наземных растениях и водорослях 0,01—0,1%, животных от 0,1% до нескольких процентов, циркулирует, постепенно переходя из органических соединений в фосфаты, которые снова могут использоваться растениями (рис. 12.17).

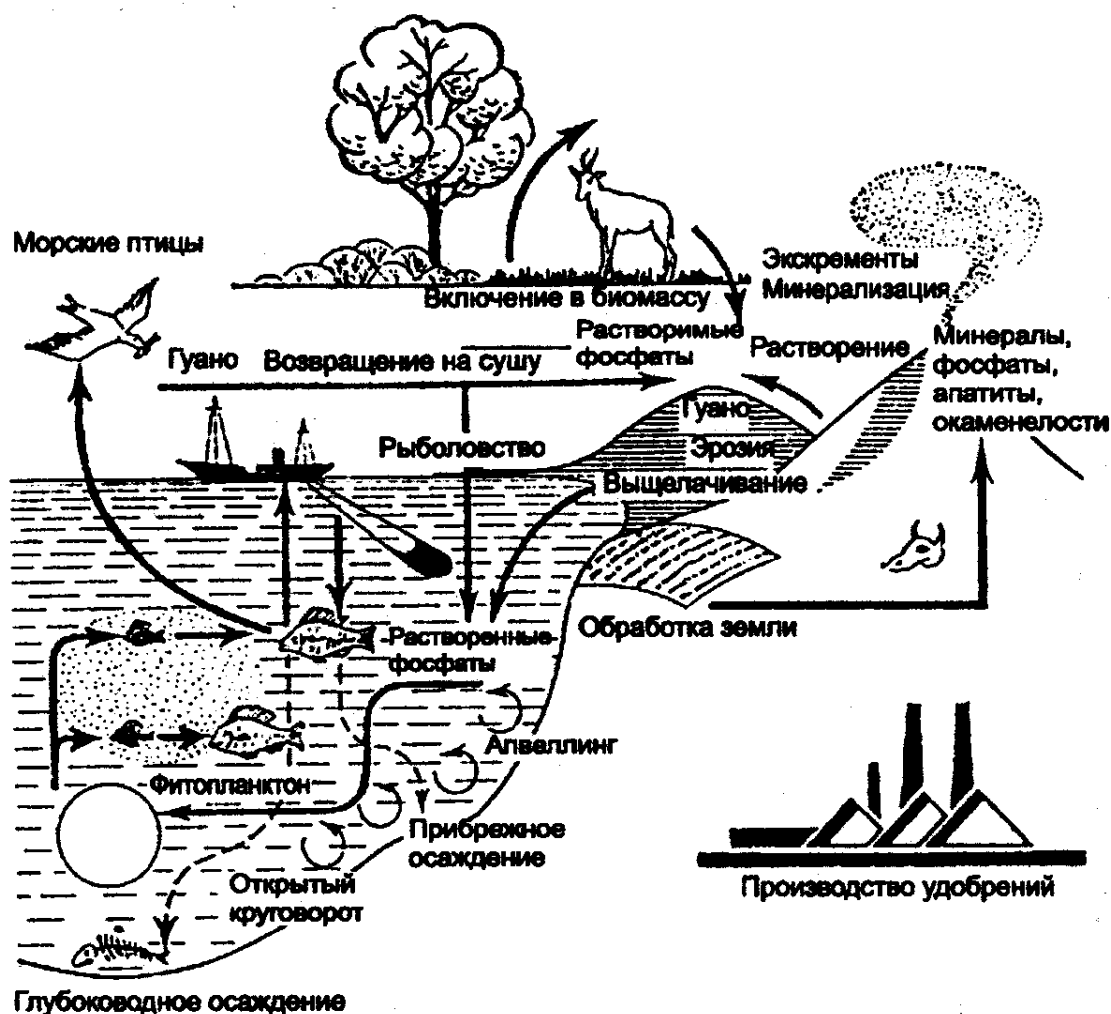


Рис. 12.17. Круговорот фосфора (по Ф. Рамаду, 1981)

Однако фосфор в отличие от других биофильных элементов в процессе миграции не образует газовой формы. Резервуаром фосфора является не атмосфера, как у азота, а минеральная часть литосферы. Основными источниками неорганического фосфора являются изверженные породы (апатиты) или осадочные породы (фосфориты). Из пород неорганический фосфор вовлекается в циркуляцию выщелачиванием и растворением в континентальных водах. Попадая в экосистемы суши, почву, фосфор поглощается растениями из водного раствора в виде неорганического фосфат-иона (PO_4^{3-}) и включается в состав различных органических соединений, где он выступает в форме *органического фосфата*. По пищевым цепям фосфор переходит от растений к другим организмам экосистемы. Химически связанный фосфор попадает с остатками растений и животных в почву, где вновь подвергается воздействию микроорганизмов и превращается в

минеральные ортофосфаты, а в дальнейшем происходит повторение цикла.

В водные экосистемы фосфор переносится текучими водами. Реки непрерывно обогащают фосфатами океаны. В соленых морских водах фосфор переходит в состав фитопланктона, служащего пищей другим организмам моря, в последующем накапливаясь в тканях морских животных, например рыб. Часть соединений фосфора мигрирует в пределах небольших глубин, потребляясь организмами, другая часть теряется на больших глубинах. Отмершие остатки организмов приводят к накоплению фосфора на разных глубинах. Отсюда следует, что фосфор, попадая в водоемы тем или иным путем, насыщает, а нередко и перенасыщает их экосистемы. Частичный возврат фосфатов на сушу связан с поднятием земной коры выше уровня моря. Определенное количество фосфора переносится на сушу морскими птицами, а также благодаря рыболовству. Птицы отлагают фосфор на отдельных островах в виде гуано.

При рассмотрении круговорота фосфора в масштабе биосферы за сравнительно короткий период можно отметить, что он полностью не замкнут. Механизм возвращения фосфора из океанов на сушу в естественных условиях совершенно не способен компенсировать потери этого элемента на седиментацию.

Круговорот серы. Существуют многочисленные газообразные соединения серы, такие, как сероводород H_2S и сернистый ангидрид SO_2 . Однако преобладающая часть круговорота этого элемента имеет осадочную природу и происходит в почве и воде.

Основной источник серы, доступный живым организмам, — сульфаты (SO_4). Доступ неорганической серы в экосистеме облегчает хорошая растворимость многих сульфатов в воде. Растения, поглощая сульфаты, восстанавливают их и вырабатывают серосодержащие аминокислоты (метионин, цистеин, цистин), играющие важную роль в выработке третичной структуры протеинов при формировании дисульфидных мостиков между различными зонами полипептидной цепи.

Подробная схема круговорота серы приведена на рис. 12.18.

Здесь хорошо просматриваются многие основные черты биогеохимического круговорота.

1. Обширный резервный фонд в почве и отложениях, меньший в атмосфере.

2. Ключевую роль в быстро обмениваемом фонде играют специализированные микроорганизмы, выполняющие определенные реакции окисления или восстановления. Благодаря процессам окисления и восстановления происходит обмен серы между доступными сульфатами (SO_4) и сульфидами железа, находящимися глубоко в почве и осадках. Специализированные микроорганизмы выполняют реакции: $H_2S \rightarrow S \rightarrow SO_4$ — бесцветные, зеленые и пурпурные серобактерии; $SO_4 \rightarrow H_2S$ (анаэробное восстановление сульфата) — *Desulfovibrio*; $H_2S \rightarrow SO_4$ (аэробное окисление сульфида) — тибациллы; органическая S в SO_4 и H_2S — аэробные и анаэробные гетеротрофные микроорганизмы соответственно. Первичная

продукция обеспечивает включение сульфата в органическое вещество, а экскреция животными служит путем возвращения сульфата в круговорот.

3. Микробная регенерация из глубоководных отложений, приводящая к движению вверх газовой фазы H_2S .

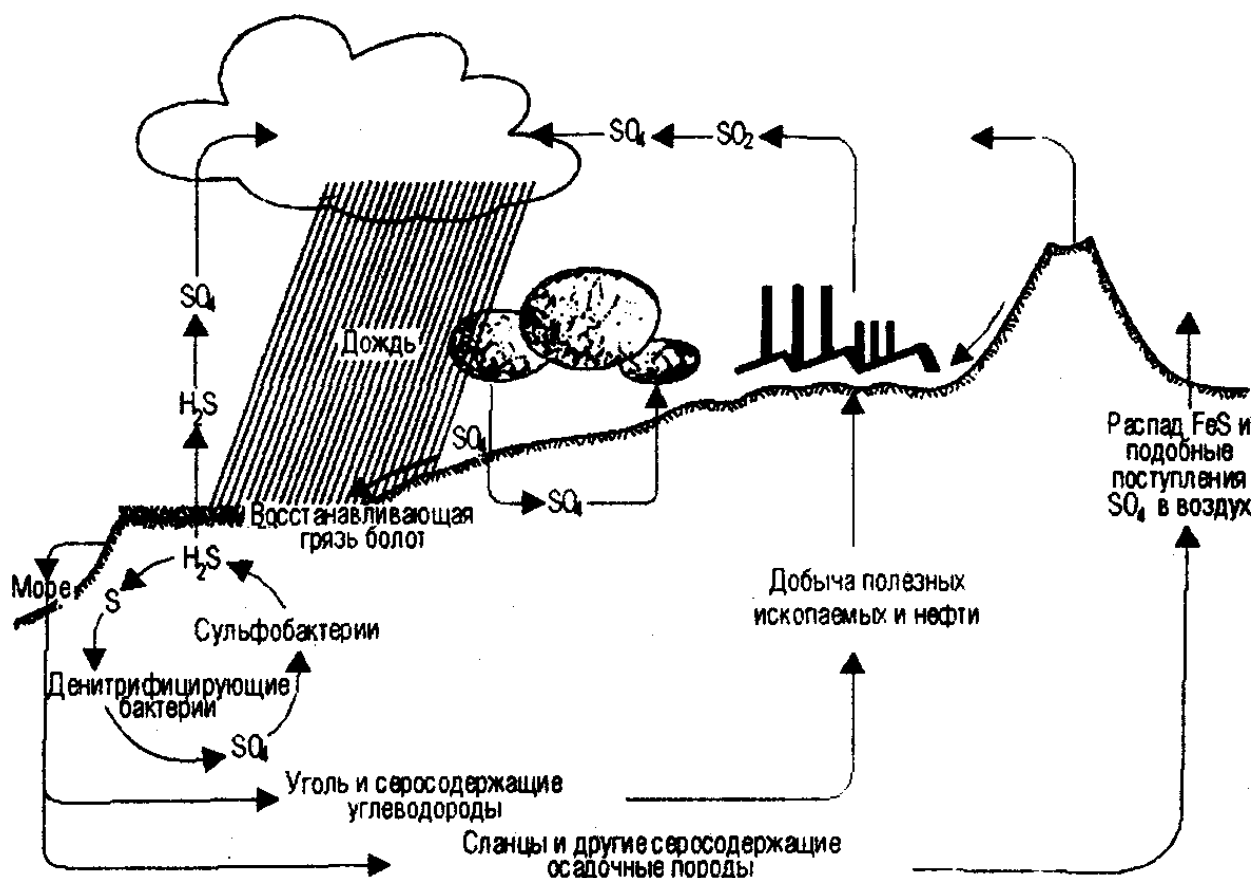


Рис. 12.18. Круговорот серы (по Ф. Рамаду, 1981)

4. Взаимодействие геохимических и метеорологических процессов — эрозия, осадкообразование, выщелачивание, дождь, абсорбация-десорбция и др. — с такими биологическими процессами, как продукция и разложение.

5. Взаимодействие воздуха, воды и почвы в регуляции кругом ворота в глобальном масштабе.

В целом экосистеме по сравнению с азотом и фосфором требуется меньше серы. Отсюда сера реже является лимитирующим фактором для растений и животных. Вместе с тем круговорот серы относится к ключевым в общем процессе продукции и разложения биомассы. К примеру, при образовании в осадках сульфидов железа фосфор из нерастворимой формы переводится в растворимую и становится доступным для организмов. Это подтверждение того, как один круговорот регулируется другим.

12.7. Поток энергии в экосистемах

Поддержание жизнедеятельности организмов и круговорот вещества в экосистемах, т. е. существование экосистем, зависит от постоянного притока

энергии, необходимой всем организмам для их жизнедеятельности и самовоспроизведения (рис. 12.19).

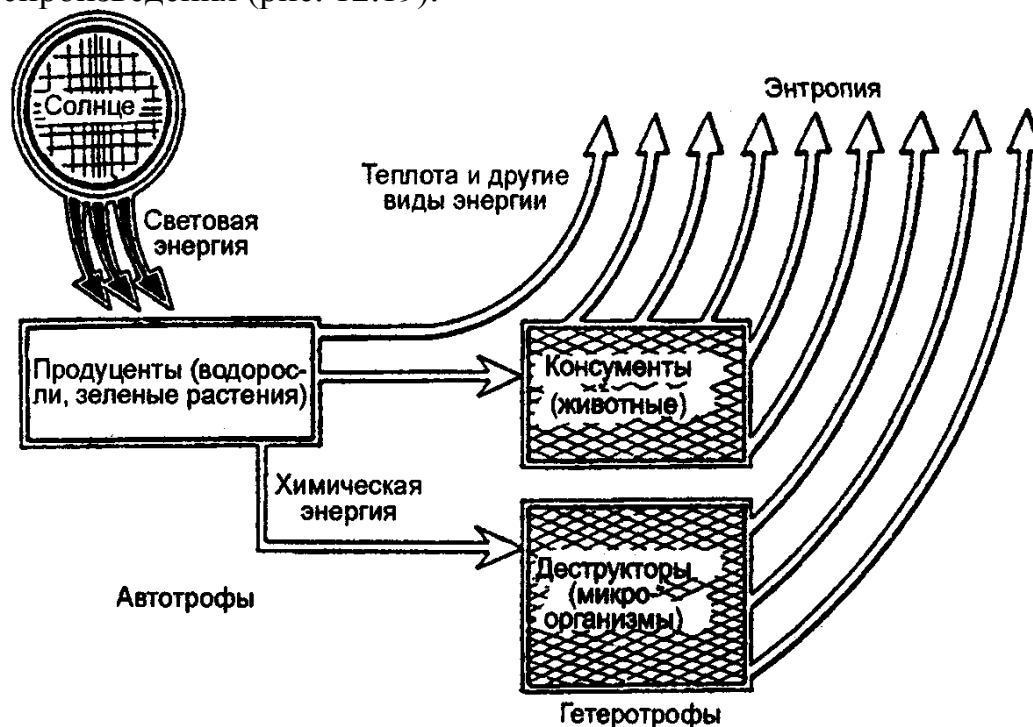


Рис. 12.19. Поток энергии в экосистеме (по Ф. Рамаду, 1981)

В отличие от веществ, непрерывно циркулирующих по разным блокам экосистемы, которые всегда могут повторно использоваться, входить в круговорот, энергия может быть использована только раз, т. е. имеет место линейный поток энергии через экосистему.

Односторонний приток энергии как универсальное явление природы происходит в результате действия законов термодинамики. *Первый закон* гласит, что энергия может превращаться из одной формы (например, света) в другую (например, потенциальную энергию пищи), но не может быть создана или уничтожена. *Второй закон* утверждает, что не может быть ни одного процесса, связанного с превращением энергии, без потерь некоторой ее части. Определенное количество энергии в таких превращениях рассеивается в недоступную тепловую энергию, а следовательно, теряется. Отсюда не может быть превращений, к примеру, пищевых веществ в вещество, из которого состоит тело организма, идущих со 100-процентной эффективностью.

Таким образом, живые организмы являются преобразователями энергии. И каждый раз, когда происходит превращение энергии, часть ее теряется в виде тепла. В конечном итоге вся энергия, поступающая в биотический круговорот экосистемы, рассеивается в виде тепла. Живые организмы фактически не используют тепло как источник энергии для совершения работы — они используют свет и химическую энергию.

Пищевые цепи и сети, трофические уровни. Внутри экосистемы содержащие энергию вещества создаются автотрофными организмами и служат

пищей для гетеротрофов. Пищевые связи — это механизмы передачи энергии от одного организма к другому.

Типичный пример: животное поедает растения. Это животное, в свою очередь, может быть съедено другим животным. Таким путем может происходить перенос энергии через ряд организмов — каждый последующий питается предыдущим, поставляющим ему сырье и энергию (рис. 12.20).



Рис. 12.20. Биотический круговорот веществ: пищевая цепь (по А. Г. Банникову и др., 1985)

Такая последовательность переноса энергии называется *пищевой (трофической) цепью*, или цепью питания. Место каждого звена в цепи питания является *трофическим уровнем*. Первый трофический уровень, как уже было отмечено ранее, занимают автотрофы, или так называемые *первичные продуценты*. Организмы второго трофического уровня называются *первичными консументами*, третьего — *вторичными консументами* и т. д.

Обычно различают три типа пищевых цепей. Пищевая цепь хищников

начинается с растений и переходит от мелких организмов к организмам все более крупных размеров. На суше пищевые цепи состоят из трех-четырех звеньев.

Одна из простейших пищевых цепей имеет вид (см. рис. 12.5):

растение → заяц → волк

продуцент → травоядное → плотоядное

Широко распространены и такие пищевые цепи:

растительный материал (например, нектар) → муха → паук →
землеройка → сова.

сок розового куста → тля → божья (тлевая) коровка →
→ паук → насекомоядная птица → хищная птица.

В водных и, в частности, морских экосистемах пищевые цепи хищников, как правило, длиннее, чем в наземных. Широко распространен тип пищевых отношений, представленный на рис. 12.21 и табл. 12.5.

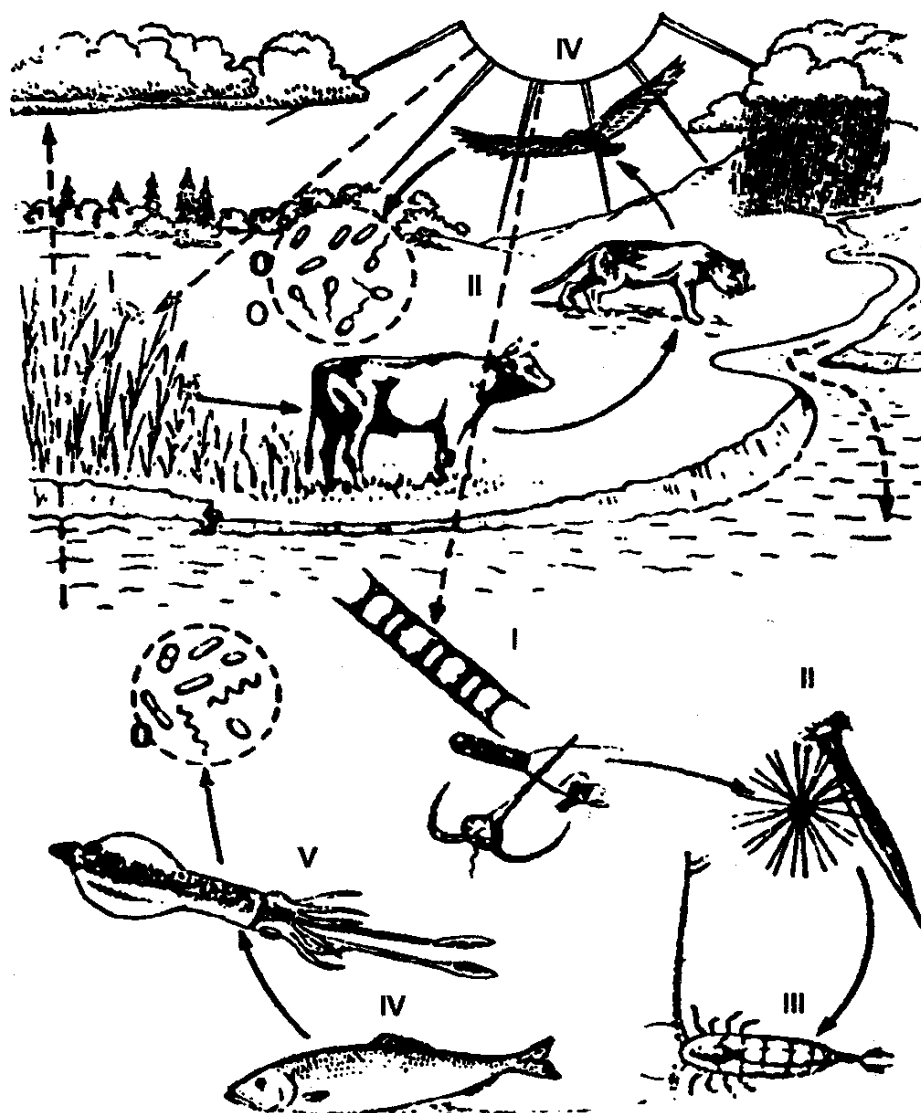


Рис. 12.21. Пищевые цепи в наземной и водной экосистемах:

I — продуценты; II — травоядные; III, IV, V — плотоядные; 0 — деструкторы (из Ф. Рамада, 1981)

Таблица 12.5

**Структура пищевой цепи в морской экосистеме
(по Ф. Рамаду, 1981)**

Трофический уровень	Экологическая функция	Тип организма	Вид
I	Продуцент ↓	Фитопланктон ↓	Chaetoceros ↓
II	Консумент I (травоядное) ↓	Зоопланктон ↓	Calanus (веслоногие рачки) ↓
III	Консумент II (плотоядное 1) ↓	Рыбы (микрофаги) ↓	Ammodytes (песчанка) ↓
IV	Консумент III (плотоядное 2) ↓	Рыбы (макрофаги) ↓	Clupea (сельдь) ↓
V	Консумент IV (плотоядное 3)	Птицы (ихтиофаги)	Phalacrocorax (баклан)

Пищевые цепи, включающие паразитов, отличаются от приведенных и идут от крупных организмов к мелким. В отдельных случаях организмы, таксономически значительно удаленные друг от друга, развиваются один внутри тела другого, первый паразит внутри второго и т. д. К примеру, у насекомых гиперпаразитизм очень сильно развит, и нередко пищевая цепь имеет следующий вид:

I	II	III	IV
растение →	травоядное →	паразит →	гиперпаразит
сосна →	гусеница →	бракониды →	наездники
Abies alba	Choristoneura murinana	Apantelessp	Chaleididae

Вокруг каждого вида насекомого-фитофага, который питается растениями, формируется зооценоз паразитов и хищников, образующих многочисленные пищевые цепи, где хозяин является начальным звеном.

Приведенные типы пищевых цепей начинаются с фотосинтезирующих организмов и носят название *пастбищных* (или цепи выедания, или цепи потребления).

Третий тип пищевых цепей, начинающихся с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных, относят к *детритным* (сапрофитным) *пищевым цепям* или к *детритным цепям разложения*. В детритных пищевых цепях наземных экосистем важную роль играют листовенные леса, большая часть листвы которых не употребляется в пищу травоядными животными и входит в состав подстилки из опавших листьев. Листья измельчаются многочисленными детритофагами — грибами,

бактериями, насекомыми (например, коллембола) и т. д., дальше заглатываются земляными (дождевыми) червями, которые осуществляют равномерное распределение гумуса в поверхностном слое земли, образуя так называемый мулль (рис. 12.22).

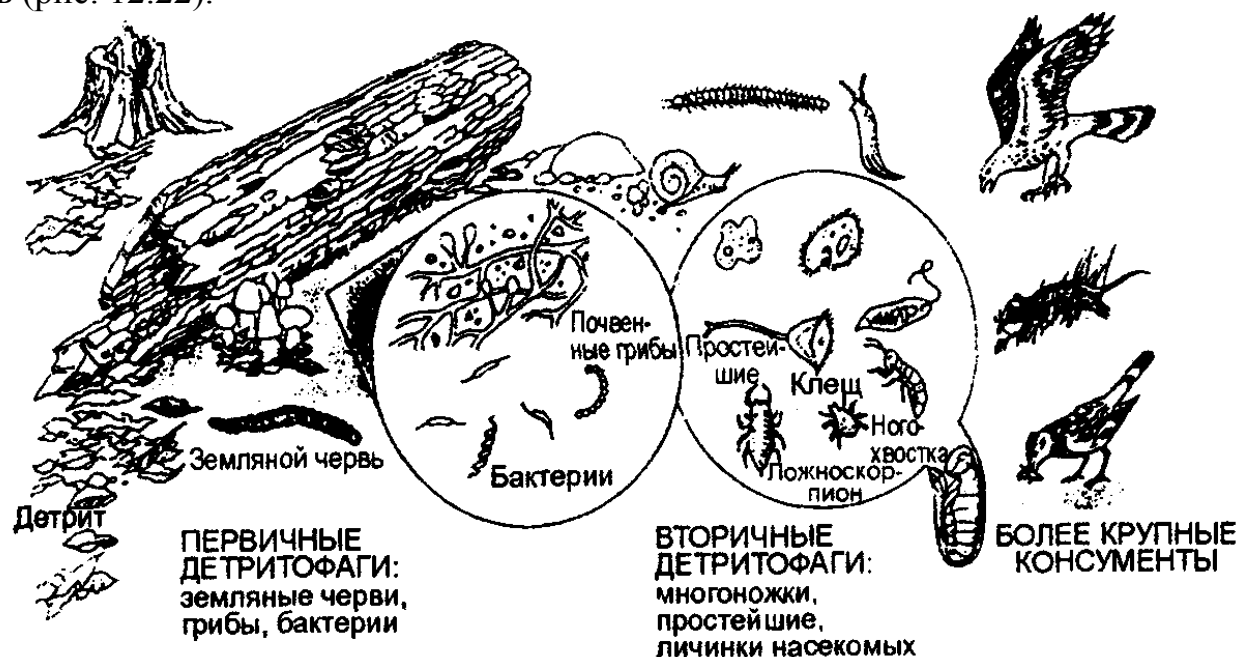


Рис. 12.22. Детритная пищевая цепь в наземной экосистеме (по Б. Небелу, 1993)

На этом уровне у грибов закладывается мицелий. Разлагающие микроорганизмы, завершающие цепь, производят окончательную минерализацию мертвых органических остатков. В целом типичные детритные пищевые цепи наших лесов можно представить следующим образом:

листовая подстилка → дождевой червь → черный дрозд → ястреб-перепелятник;

мертвое животное → личинки падальных мух → травяная лягушка → обыкновенный уж.

В рассмотренных схемах пищевых цепей каждый организм представлен как питающийся другими организмами какого-то одного типа. Реальные же пищевые связи в экосистеме намного сложнее, так как животное может питаться организмами разных типов из одной и той же пищевой цепи или из разных пищевых цепей, например, хищники верхних трофических уровней. Нередко животные питаются как растениями, так и другими животными. Их называют *всеядными*. Таким образом, все три типа пищевых цепей всегда сосуществуют в экосистеме так, что ее представители объединены многочисленными пересекающимися пищевыми связями, а все вместе они образуют пищевую (*трофическую*) сеть (рис. 12.23).

Пищевые сети в экосистемах весьма сложные, и можно сделать вывод, что энергия, поступающая в них, долго мигрирует от одного организма к другому.

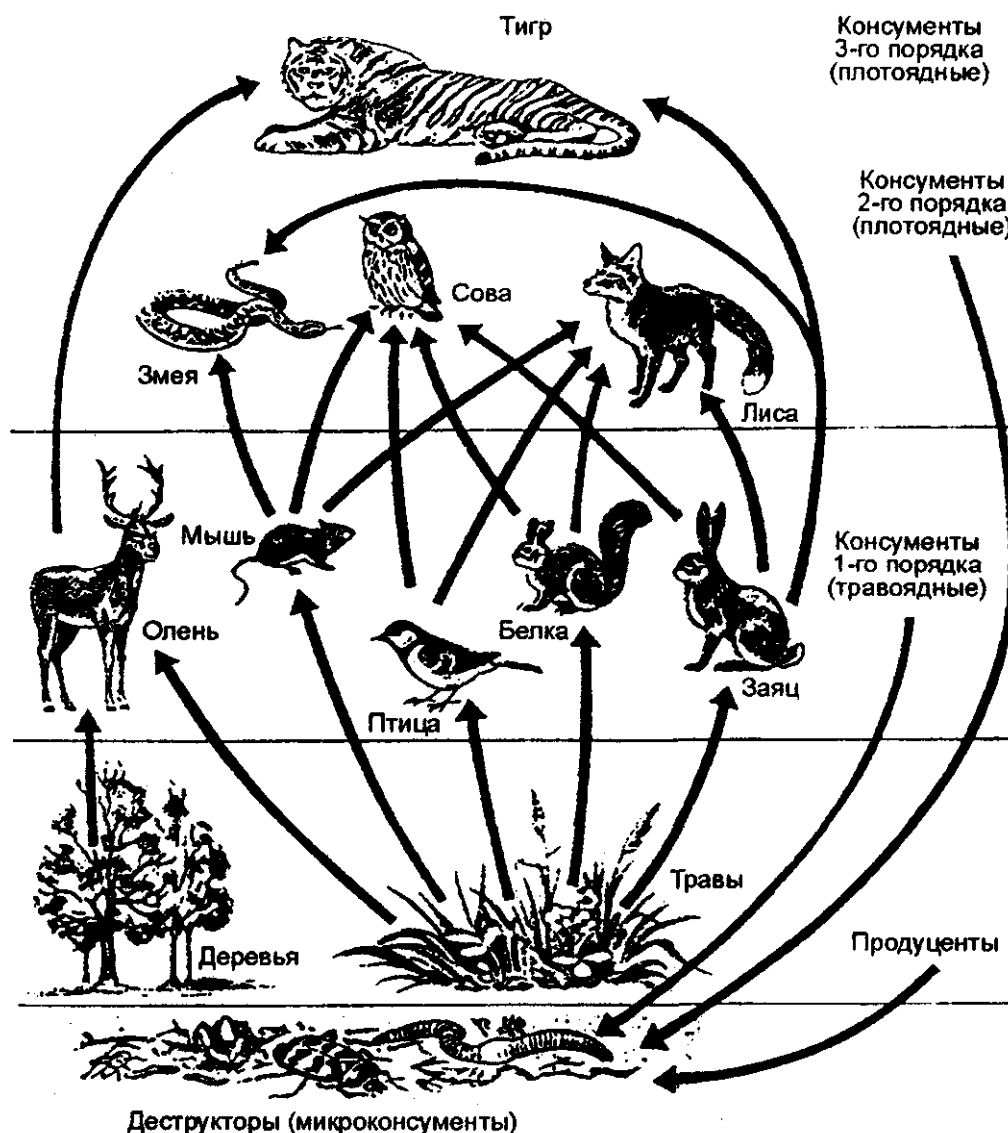


Рис. 12.23. Пищевая сеть и направление потока вещества
(по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Экологические пирамиды. Внутри каждой экосистемы трофические сети имеют хорошо выраженную структуру, которая характеризуется природой и количеством организмов, представленных на каждом уровне различных пищевых цепей. Для изучения взаимоотношений между организмами в экосистеме и для их графического изображения обычно используют не схемы пищевых сетей, а экологические пирамиды. Экологические пирамиды выражают трофическую структуру экосистемы в геометрической форме. Они строятся в виде прямоугольников одинаковой ширины, но длина прямоугольников должна быть пропорциональна значению измеряемого объекта. Отсюда можно получить *пирамиды численности, биомассы и энергии*.

Экологические пирамиды отражают фундаментальные характеристики любого биоценоза, когда они показывают его трофическую структуру:

— их высота пропорциональна длине рассматриваемой пищевой цепи, т. е. числу содержащихся в ней трофических уровней;

— их форма более или менее отражает эффективность превращений энергии при переходе с одного уровня на другой.

Пирамиды численности. Они представляют собой наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. При этом сначала подсчитывают число организмов на данной территории, сгруппировав их по трофическим уровням и представив в виде прямоугольника, длина (или площадь) которого пропорциональна числу организмов, обитающих на данной площади (или в данном объеме, если это водная экосистема). Установлено основное правило, которое гласит, что в любой среде растений больше, чем животных, травоядных больше, чем плотоядных, насекомых больше, чем птиц, и т. д. (рис. 12.24).

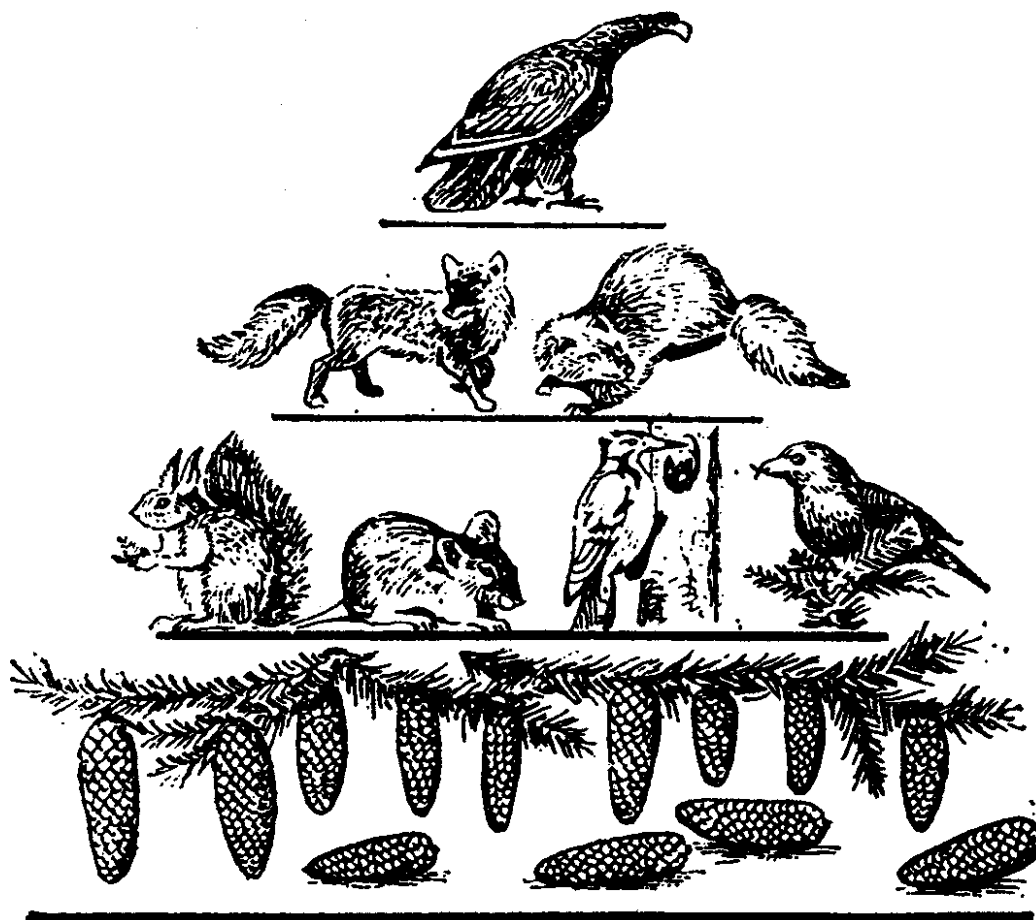


Рис. 12.24. Упрощенная схема пирамиды численности
(по Г. А. Новикову, 1979)

Пирамиды численности отражают плотность организмов на каждом трофическом уровне. В построении различных пирамид численности отмечается большое разнообразие. Нередко они перевернуты (рис. 12.25).

Например, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичные продуценты), чем насекомых (растительноядные).

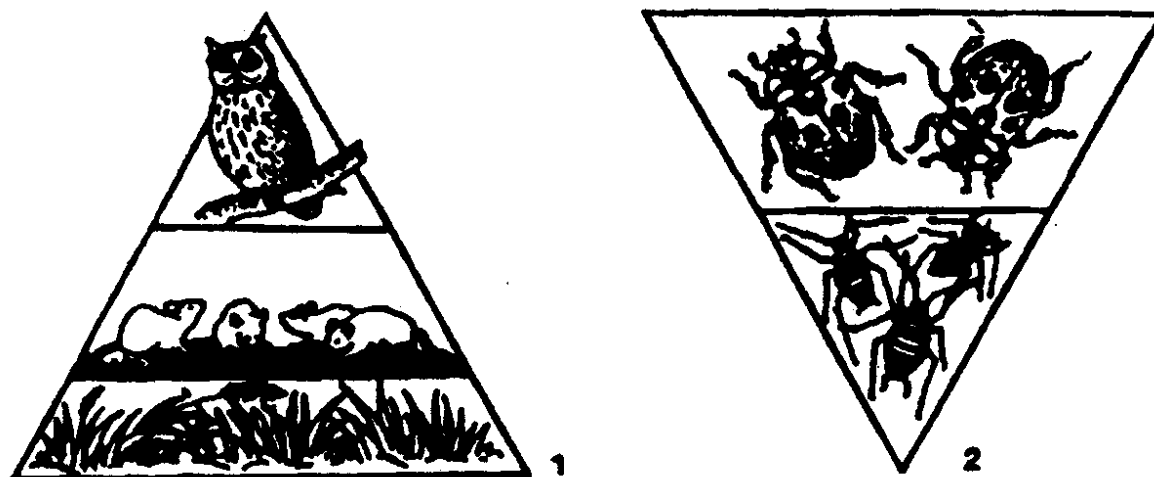


Рис. 12.25. Пирамиды численности:
1 — прямая; 2 — перевернутая (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Подобная же картина наблюдается в пищевых цепях сапрофитов и паразитов.

Пирамида биомассы. Отражает более полно пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как в ней учитывается суммарная масса организмов (*биомасса*) каждого трофического уровня. Прямоугольники в пирамидах биомассы отображают массу организмов каждого трофического уровня, отнесенную к единице площади или объема. Форма пирамиды биомассы нередко сходна с формой пирамиды численности. Характерно уменьшение биомассы на каждом следующем трофическом уровне (рис. 12.26 и 12.27).

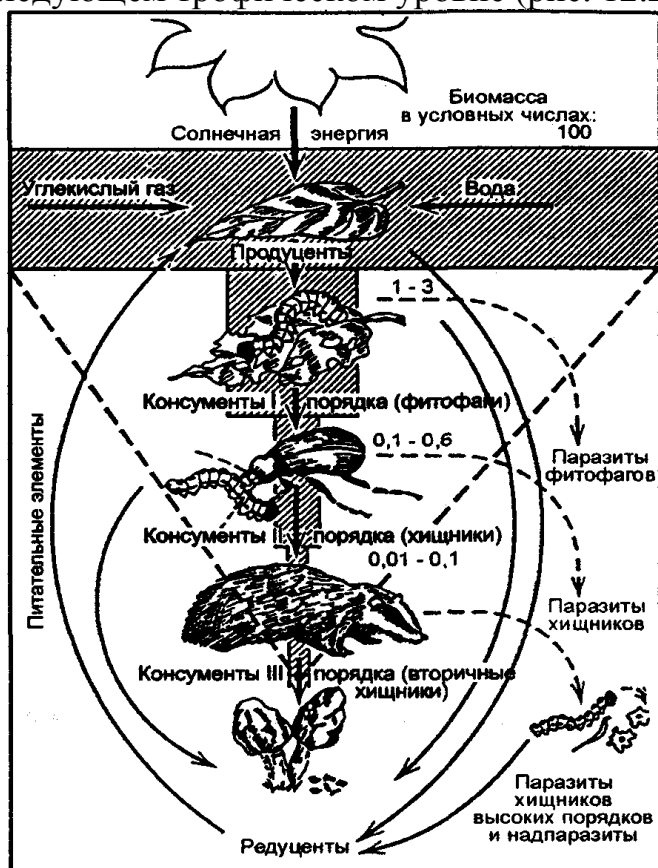


Рис. 12.26. Пирамида биомассы (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Примечание: пирамида биомассы перевернута по отношению к классическому ее изображению — перевернута к потоку энергии Солнца звеном продуцентов

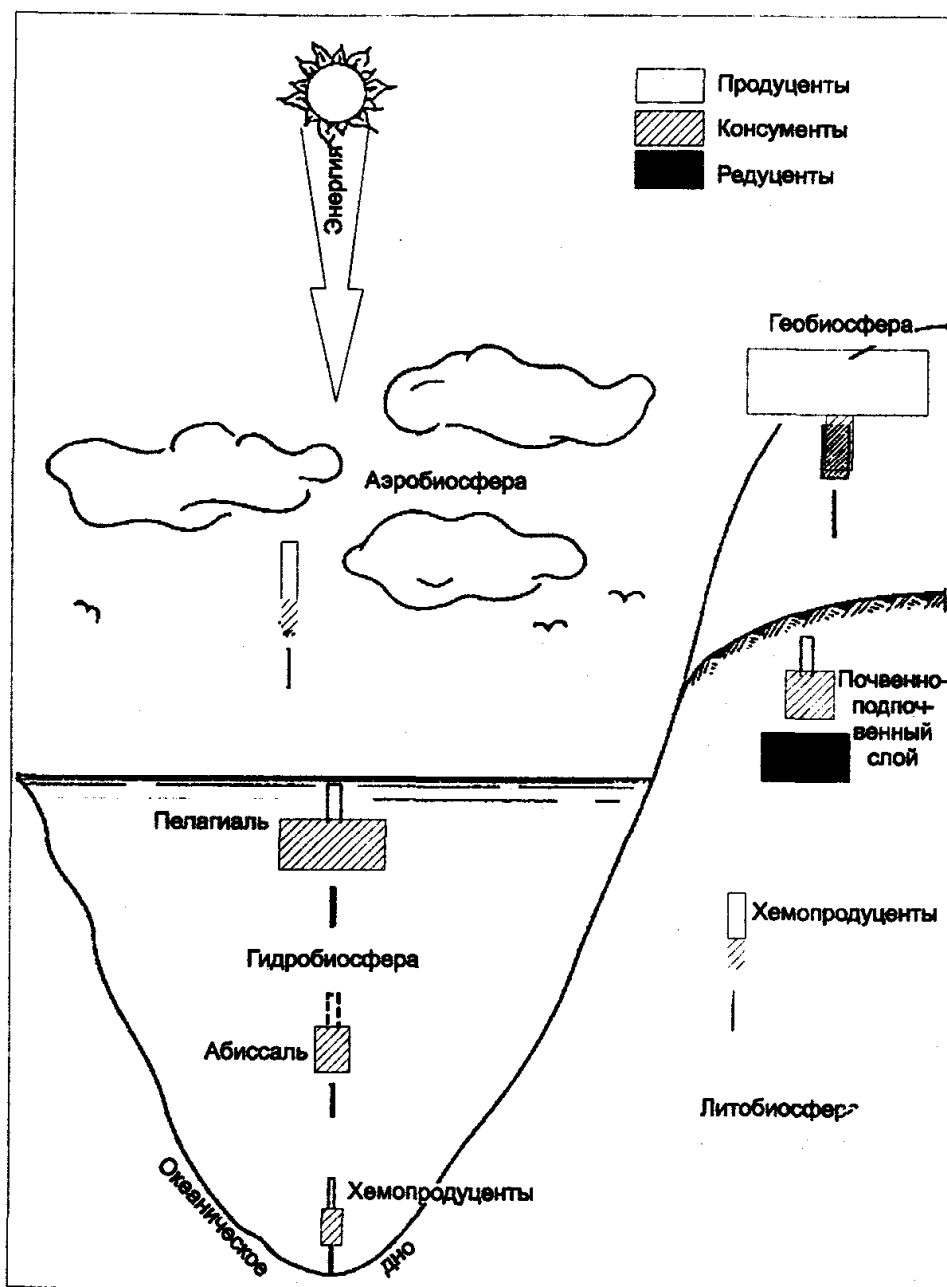


Рис. 12.27. Типы пирамид биомассы в различных подразделениях биосферы (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Пирамиды биомассы, так же как и численности, могут быть не только прямыми, но и перевернутыми. Перевернутые пирамиды биомассы свойственны водным экосистемам, в которых первичные продуценты, например фитопланктонные водоросли, очень быстро делятся, а их потребители — зоопланктонные ракообразные — гораздо крупнее, но имеют длительный цикл воспроизводства. В частности, это относится к пресноводной среде, где первичная продуктивность обеспечивается микроскопическими организмами, скорость обмена веществ которых повышена, т. е. биомасса мала, производительность велика.

Пирамида энергии. Наиболее фундаментальным способом отображения связей между организмами на разных трофических уровнях служат пирамиды

энергии. Они представляют эффективность преобразования энергии и продуктивность пищевых цепей, строятся подсчетом количества энергии (ккал), аккумулированной единицей поверхности за единицу времени и используемой организмами на каждом трофическом уровне. Так, можно относительно легко определить количество энергии, накопленной в биомассе, и сложнее оценить общее количество энергии, поглощенной на каждом трофическом уровне. Построив график (рис. 12.28), можно констатировать, что деструкторы, значимость которых представляется небольшой в пирамиде биомассы, а в пирамиде численности наоборот; получают значительную часть энергии, проходящей через экосистему. При этом только часть всей этой энергии остается в организмах на каждом трофическом уровне экосистемы и сохраняется в биомассе, остальная часть используется для удовлетворения метаболических потребностей живых существ: поддержание существования, рост, воспроизводство. Животные также расходуют значительное количество энергии и для мышечной работы.

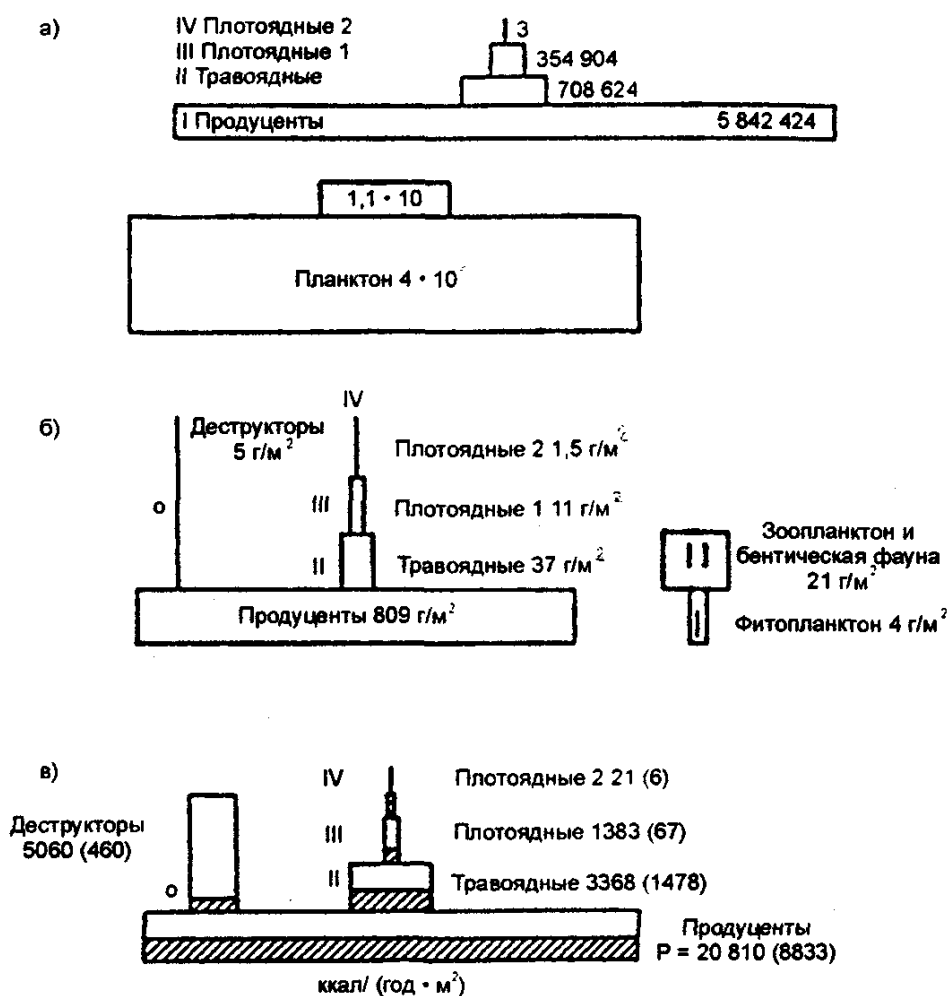


Рис. 12.28. Экологические пирамиды (по Е. Одуму, 1959):

а — пирамида численности; б — пирамида биомассы;

в — пирамида энергии.

Заштрихованные прямоугольники обозначают чистую продукцию

Рассмотрим более подробно, что происходит с энергией при ее передаче через пищевую цепь (рис. 12.29).

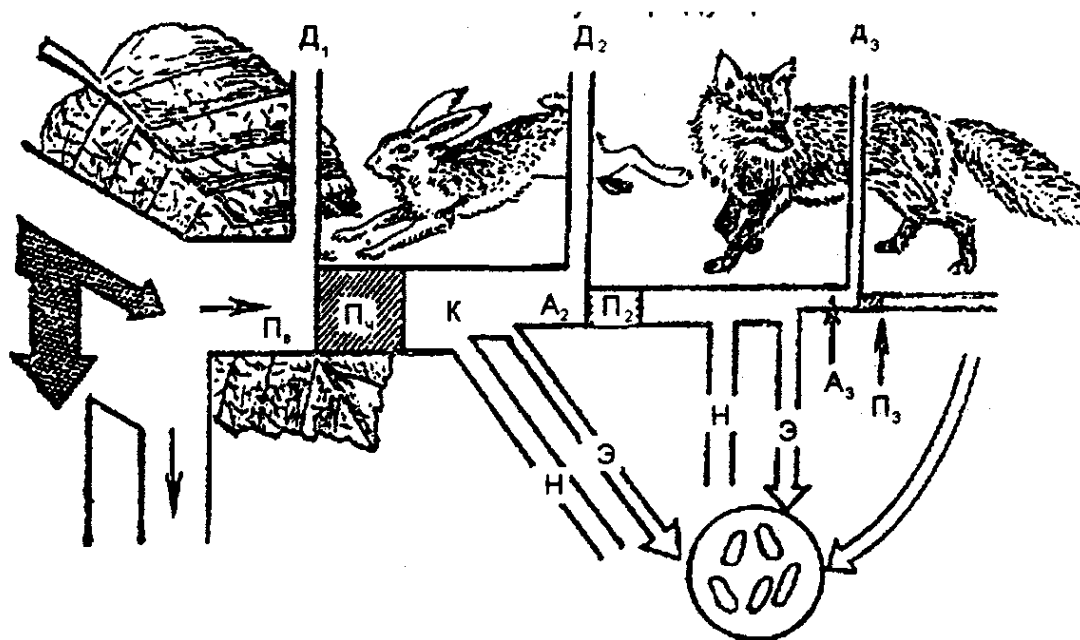


Рис. 12.29. Поток энергии через три уровня трофической цепи (по П. Дювиньо и М. Тангу, 1968)

Ранее уже было отмечено, что солнечная энергия, полученная растением, лишь частично используется в процессе фотосинтеза. Фиксированная в углеводах энергия представляет собой валовую продукцию экосистемы (P_v). Углеводы идут на построение протоплазмы и рост растений. Часть их энергии затрачивается на дыхание (D_1). Чистая продукция (P_{ch}) определяется по формуле:

$$P_{ch} = P_v - D_1 \quad (12.5)$$

Следовательно, поток энергии, проходящий через уровень продуцентов, или валовую продукцию, можно представить:

$$P_v = P_{ch} + D_1. \quad (12.6)$$

Определенное количество созданных продуцентами веществ служит кормом (К) фитофагов. Остальное как итог отмирает и перерабатывается редуцентами (Н). Ассимилированный фитофагами корм (А) лишь частично используется для образования их биомассы (P_d). Главным образом он растрачивается на обеспечение энергией процессов дыхания (Д) и в определенной степени выводится из организма в виде выделений и экскрементов (Э). Поток энергии, проходящий через второй трофический уровень, выражается следующим образом:

$$A_2 = P_2 + D_2. \quad (12.7)$$

Консументы второго порядка (хищники) не истребляют всю биомассу своих жертв. При этом из того количества ее, которое они уничтожают, только

часть используется на создание биомассы их собственного трофического уровня. Остальная же часть в основном затрачивается на энергию дыхания, выделяется с экскретами и экскрементами. Поток энергии, проходящий через уровень консументов второго порядка (плотоядные), выражается формулой:

$$A_3 = П_3 + D_3. (12.8)$$

Подобным образом можно проследить совокупность пищевой цепи и до последнего трофического уровня. Распределив по вертикали различные затраты энергии на трофических уровнях, получим полную картину пищевой пирамиды в экосистеме (рис. 12.30).

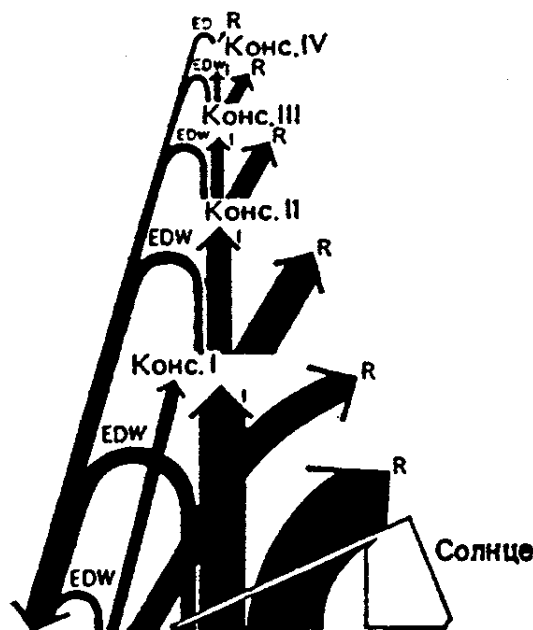


Рис. 12.30. Пирамида энергии (из Ф. Рамада, 1981):

Е - энергия, выделяемая с метаболитами; D - естественные смерти; W — фекалии; R - дыхание

Поток энергии, выражающийся количеством ассимилированного вещества по цепи питания, на каждом трофическом уровне уменьшается или:

$$П_4 > П_2 > П_3 \text{ и т.д.}$$

Р. Линдемман в 1942 г. впервые сформулировал закон *пирамиды энергий*, который в учебниках нередко называют «законом 10%». Согласно этому закону с одного *трофическо-го* уровня экологической пирамиды переходит на другой ее уровень в среднем не более 10% энергии.

Последующим гетеротрофам передается только 10—20% исходной энергии. Используя закон пирамиды энергий, нетрудно подсчитать, что количество энергии, доходящее до третичных плотоядных (V трофический уровень), составляет около 0,0001 энергии, поглощенной продуцентами. Отсюда следует, что передача энергии с одного уровня на другой происходит с очень малым КПД. Это объясняет ограниченное количество звеньев в пищевой цепи независимо от того или иного биоценоза.

Е. Одум (1959) в предельно упрощенной пищевой цепи - *люцерна* → *теленка* → *ребенка* оценил превращение энергии, проиллюстрировал величину ее потерь. Допустим, рассуждал он, имеется посев люцерны на площади 4 га.

На этом поле кормятся телята (предполагается, что они едят только люцерну), а 12-летний мальчик питается исключительно телятиной. Результаты расчетов, представленные в виде трех пирамид: численности, биомассы и энергии (рис. 12.31 и 12.32), — свидетельствуют, что люцерна использует всего 0,24% всей падающей на поле солнечной энергии, телятком усваивается 8% этой продукции и только 0,7% биомассы телянка обеспечивает развитие ребенка в течение года*.

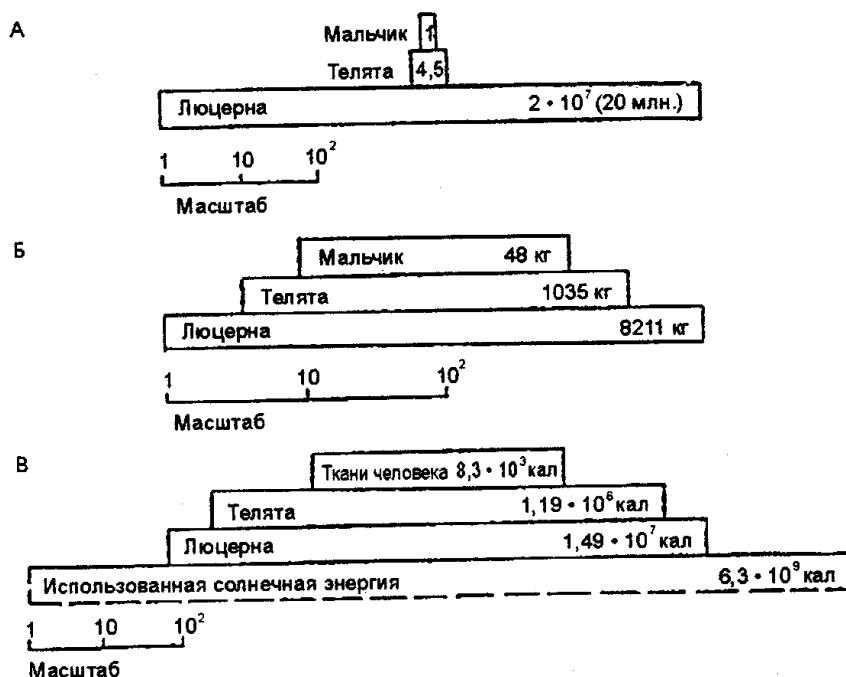


Рис. 12.31. Упрощенная экосистема: люцерна — телята — мальчик
(по Е. Одуму, 1959):

А — пирамида чисел; Б — пирамида биомассы; В — пирамида энергии

* Если бы мальчик в течение года питался только телятиной, то для этого потребовалось бы 4,5 теленка, а для их пропитания необходимо $2 \cdot 10^7$ растений люцерны.

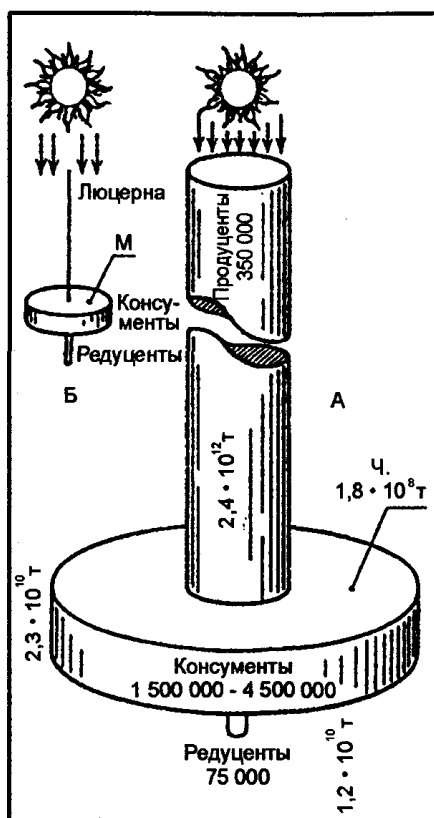


Рис. 12.32. Волчок жизни - схема, иллюстрирующая управляющее и стабилизирующее значение консументов в экосистеме (по Н. Ф. Реймерсу, 1990):

А — биосфера в целом (ч — человечество); Б — упрощенная модельная экосистема: люцерна - телята - мальчик (М) с включением других консументов и редуцентов. Диаметр колес (цилиндров) — число видов, толщина колес (длина цилиндров) — биомасса

Е. Одум, таким образом, показал, что только одна миллионная доля приходящейся солнечной энергии превращается в биомассу плотоядного, в данном случае способствует увеличению массы ребенка, а остальное теряется, рассеивается в деградированной форме в окружающей среде. Приведенный пример наглядно иллюстрирует очень низкую экологическую эффективность экосистем и малый КПД при превращении в пищевых цепях. Можно констатировать следующее: если 1000 ккал (сут м^2) зафиксирована продуцентами, то 10 ккал (сут. м^2) переходит в биомассу травоядных и только 1 ккал (сут. м^2) — в биомассу плотоядных.

Поскольку определенное количество вещества может быть использовано каждым биоценозом неоднократно, а порция энергии один раз, то целесообразнее говорить, что в экосистеме происходит каскадный перенос энергии (см. рис. 12.19).

Консументы служат управляющим и стабилизирующим звеном в экосистеме (рис. 12.32). Консументы порождают спектр разнообразия в ценозе, препятствуя монополии доминантов. *Правило управляющего значения консументов* можно с полным основанием отнести к достаточно фундаментальным. Согласно кибернетическим воззрениям, управляющая система должна быть сложнее по структуре, чем управляемая, то становится ясной причина множественности видов консументов. Управляющее значение консументов имеет и энергетическую подоснову. Поток энергии, проходящий через тот или другой трофический уровень, не может абсолютно определяться наличием пищи в нижележащем трофическом уровне. Всегда остается, как известно, достаточный «запас», так как полное уничтожение корма привело бы к гибели потребителей. Эти общие закономерности наблюдаются в рамках популяционных процессов, сообществ, уровней экологической пирамиды,

биоценозов в целом.

12.8. Продуктивность экосистем

Продуктивность экосистем тесно связана с потоком энергии, проходящим через ту или иную экосистему. В каждой экосистеме часть приходящей энергии, попадающей в трофическую сеть, накапливается в виде органических соединений. Безостановочное производство биомассы (живой материи) — один из фундаментальных процессов биосферы. Органическое вещество, создаваемое продуцентами в процессе фотосинтеза или хемосинтеза, называют *первичной продукцией экосистемы* (сообщества). Количественно ее выражают в сырой или сухой массе растений или в энергетических единицах — эквивалентном числе ккалорий или джоулей. Первичной продукцией определяется общий поток энергии через биотический компонент экосистемы, а следовательно, и биомасса живых организмов, которые могут существовать в экосистеме (рис. 12.33).

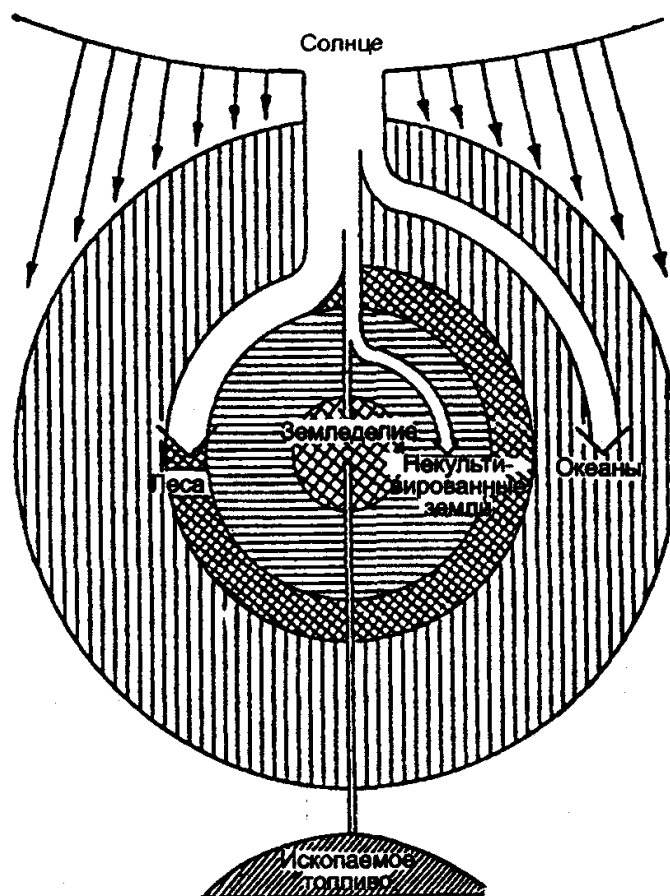


Рис. 12.33. Первичная продукция больших подразделений биосферы (из Ф. Рамада, 1981)

Примечание: интенсивность продукции пропорциональна густоте штриховки

Теоретически возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется возможностями фотосинтетического аппарата растений. А как известно, лишь часть энергии света, получаемой зеленой поверхностью, может быть использована растениями. Из коротковолнового излучения Солнца только 44% относится к фотосинтетически активной радиации (ФАР) — свет по длине волны, пригодный для фотосинтеза. Максимально достигаемый в природе КПД фотосинтеза 10—12% энергии ФАР, что составляет около половины от теоретически возможного, отмечается в зарослях джугары и тростника в Таджикистане в кратковременные, наиболее благоприятные периоды. КПД фотосинтеза в 5% считается очень высоким для фитоценоза. В целом по земному шару усвоение растениями солнечной энергии не превышает 0,1 % из-за ограничения фотосинтетической активности растений множеством факторов, среди них таких, как недостаток тепла и влаги, неблагоприятные физические и химические свойства почвы и т. д. Средний коэффициент использования энергии ФАР для территории России равен 0,8%, на европейской части страны составляет 1,0—1,2%, а в восточных районах, где условия увлажнения менее благоприятны, не превышает 0,4—0,8%. Скорость, с которой растения накапливают химическую энергию, называют *валовой первичной продуктивностью* (ВПП). Около 20% этой энергии расходуется растениями и?1| дыхание и фотодыхание. Скорость накопления органического веще4| ства за вычетом этого расхода называется *чистой первичной про-| дуктивностью* (ЧПП). Это энергия, которую могут использовать| организмы следующих трофических уровней. Количество органического вещества, накопленного гетеротрофными организмами, называется *вторичной продукцией*. Вторичную продукцию вычисляют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего. Гетеротрофы, включаясь в трофические цепи, в конечном итоге живут за счет чистой первичной продукции сообщества. Полнота ее расхода в разных экосистемах различна. Постепенное увеличение общей биомассы продуцентов отмечается, если скорость изъятия первичной продукции в цепях питания отстает от темпов прироста растений.

Мировое распределение первичной биологической продукции весьма неравномерно. Чистая продукция меняется от 3000 г/м²/год до нуля в экстремальных пустынях, лишенных растений, или в условиях Антарктиды с ее вечными льдами на поверхности суши, а запас биомассы — соответственно от 60 кг/м² до нуля. Р. Уиттекер (1980) делит по продуктивности все сообщества на четыре класса.

1. Сообщества высшей продуктивности, 3000—2000 г/м²/год. Сюда относятся тропические леса, посевы риса и сахарного тростника. Запас биомассы в этом классе продуктивности весьма различен и превышает 50 кг/м² в лесных сообществах и равен продуктивности у однолетних сельскохозяйственных культур.

2. Сообщества высокой продуктивности, 2000—1000 г/м²/год. В этот

класс включены листопадные леса умеренной полосы, луга при применении удобрений, посеvy кукурузы. Максимальная биомасса приближается к биомассе первого класса. Минимальная биомасса соответственно равна чистой биологической продукции однолетних культур.

3. Сообщества умеренной продуктивности, 1000—250 г/м²/год. К этому классу относится основная масса возделываемых сельскохозяйственных культур, кустарники, степи. Биомасса степей меняется в пределах 0,2—5 кг/м².

4. Сообщества низкой продуктивности, ниже 250 г/м²/год — пустыни, полупустыни (в отечественной литературе их называют чаще опустыненными степями), тундры.

Биомасса и первичная продуктивность основных типов экосистем представлена в табл. 12.6.

Таблица 12.6

**Биомасса и первичная продуктивность основных типов экосистем
(по Т. Д. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)**

Экосистемы	Биомасса, т/га	Продукция, т/га в год
Пустыни	0,1—0,5	0,1—0,5
Центральные зоны океана	0,2—1,5	0,5—2,5
Полярные моря	1—7	3—6
Тундра	1—8	1—4
Степи	5—12	3—8
Агроценозы	—	3—10
Саванна	8—20	4—15
Тайга	70—150	5—10
Лиственный лес	100—250	10—30
Влажный тропический лес	500—1500	25—60
Коралловый риф	15—50	50—120

На территории России в зонах достаточного увлажнения первичная продуктивность увеличивается с севера на юг, с увеличением притока тепла и продолжительности вегетационного периода (сезона). Годовой прирост растительности изменяется от 20 ц/га на побережье и островах Северного Ледовитого океана до более чем 200 ц/га в Краснодарском крае, на Черноморском по-1 берегу Кавказа (рис. 12.34).

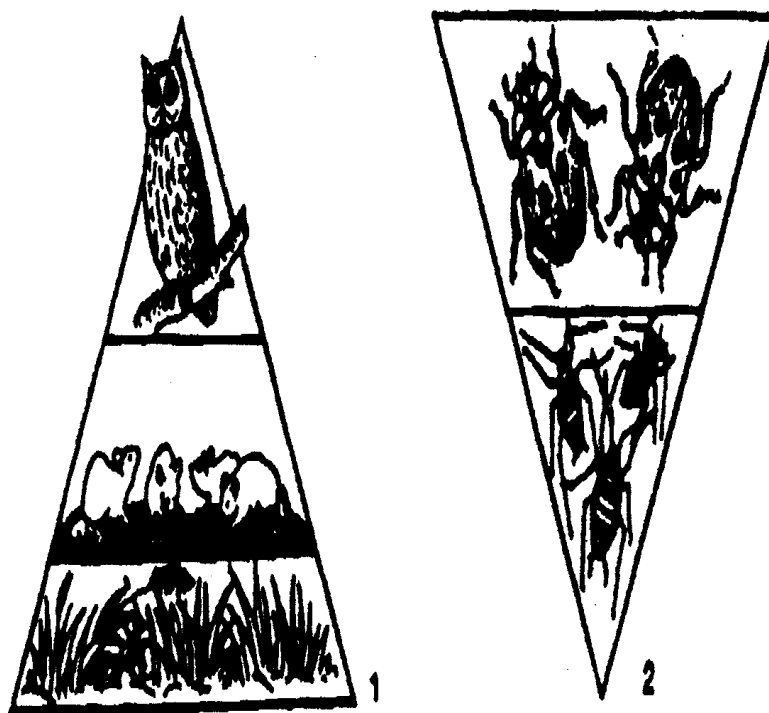


Рис. 12.34. Запасы фитомассы (А) основных экосистем европейской I территории России и соотношение (в %) частей фитомассы (Б):

1 — зеленые части растений; 2 — надземные многолетние одревес- ' несшие части; 3 — подземные части

Общая годовая продуктивность сухого органического вещества на Земле составляет 150—200 млрд т. Две трети его образуется на суше, третья часть — в океане.

Практически вся чистая первичная продукция Земли служит для поддержки жизни всех гетеротрофных организмов. Энергия, недоиспользованная консументами, запасается в их телах, гумусе почв и органических осадках водоемов. Питание людей большей частью обеспечивается сельскохозяйственными культурами, занимающими около 10% площади суши. Годовой прирост культурных растений равен примерно 16% всей продуктивности суши, большая часть которой приходится на леса.

Половина урожая идет непосредственно на питание людей, остальное — на корм домашним животным, используется в промышленности и теряется в отходах. Всего человек потребляет около 0,2% первичной продукции Земли. Ресурсы, имеющиеся на Земле, включая продукцию животноводства и результаты промысла на суше и в океане, могут обеспечить ежегодно только 50% потребностей современного населения Земли.

За успехам и в мировом производстве продовольствия скрывается тот факт, что с 1950 по 1988 г. среднедушевое производство продовольствия сократилось в 43 развивающихся странах (22 африканские страны), где проживает каждый седьмой житель планеты. Самый большой спад наблюдается в Африке. Здесь в период между 1960 и 1988 г. среднее производство продовольствия в перерасчете на душу населения упало на 21 %. Предполагается, что в ближайшие 25 лет оно сократится еще на 30%. Особенно

трудно обеспечить население вторичной продукцией. В рацион человека должно входить не менее 30 г белков в день.

Следовательно, увеличение биологической продуктивности экосистем и особенно вторичной продукции является одной из основных задач, стоящих перед человечеством.

12.9. Динамика экосистем

Сложение экосистем — динамический процесс. В экосистемах постоянно происходят изменения в состоянии и жизнедеятельности их членов и соотношении популяций. Многообразные изменения, происходящие в любом сообществе, относят к двум основным типам: циклические и поступательные.

Циклические изменения сообществ отражают суточную, сезонную и многолетнюю периодичность внешних условий и проявления эндогенных ритмов организмов. Суточная динамика экосистем связана главным образом с ритмикой природных явлений и носит строго периодический характер. Нами уже было рассмотрено, что в каждом биоценозе имеются группы организмов, активность жизни у которых приходится на разное время суток. Одни активны днем, другие — ночью. Отсюда в составе и в соотношении отдельных видов биоценоза той или иной экосистемы происходят периодические изменения, так как отдельные организмы на определенное время выключаются из него. Суточную динамику биоценоза обеспечивают как животные, так и растения. Как известно, у растений в течение суток изменяются интенсивность и характер физиологических процессов — ночью не происходит фотосинтез, нередко у растений цветки раскрываются только в ночные часы и опыляются ночными животными, другие приспособлены к опылению днем. Суточная динамика в биоценозах, как правило, выражена тем сильнее, чем значительнее разница температур, влажности и других факторов среды днем и ночью.

Более значительные отклонения в биоценозах наблюдаются при сезонной динамике. Это обусловлено биологическими циклами организмов, которые зависят от сезонной цикличности явлений природы. Так, смена времени года значительное влияние оказывает на жизнедеятельность животных и растений (спячка, зимний сон, диапауза и миграции у животных; периоды цветения, плодоношения, активного роста, листопада и зимнего покоя у растений). Сезонной изменчивости подвержена нередко и ярусная структура биоценоза. Отдельные ярусы растений в соответствующие сезоны года могут полностью исчезать, например, состоящий из однолетников травянистый ярус. Длительность биологических сезонов в разных широтах неодинакова. В связи с этим сезонная динамика биоценозов арктической, умеренной и тропической зон различна. Она выражена наиболее четко в экосистемах умеренного климата и в северных широтах.

Многолетняя изменчивость является нормальной в жизни любого биоценоза. Так, количество осадков, выпадающих в Барабинской лесостепи, резко колеблется по годам, ряд засушливых лет чередуется с многолетним периодом обилия осадков. Тем самым оказывается существенное влияние на

растения и животных. При этом происходит выработка экологических ниш — функциональное размежевание в возникающем множестве или его дополнение при малом разнообразии.

Многолетние изменения в составе биоценозов повторяются и в связи с периодическими изменениями общей циркуляции атмосферы, в свою очередь, обусловленной усилением или ослаблением солнечной активности.

В процессе суточной и сезонной динамики целостность биоценозов обычно не нарушается. Биоценоз испытывает лишь периодические колебания качественных и количественных характеристик.

Поступательные изменения в экосистеме приводят в конечном итоге к смене одного биоценоза другим, с иным набором господствующих видов. Причинами подобных смен могут являться внешние по отношению к биоценозу факторы, действующие длительное время в одном направлении, например увеличивающееся загрязнение водоемов, возрастающее в результате мелиорации иссушение болотных почв, усиленный выпас скота и т. д. Данные смены одного биоценоза другим называют *экзогенетическими*. В том случае, когда усиливающее влияние фактора приводит к постепенному упрощению структуры биоценоза, обеднению их состава, снижению продуктивности, подобные смены называют *дигрессивными* или *дигрессиями*.

Эндогенетические смены возникают в результате процессов, которые происходят внутри самого биоценоза. *Последовательная смена одного биоценоза другим называется экологической сукцессией* (от лат. *succession* — последовательность, смена). Сукцессия является процессом саморазвития экосистем. В основе сукцессии лежит неполнота биологического круговорота в данном биоценозе. Известно, что живые организмы в результате жизнедеятельности меняют вокруг себя среду, изымая из нее часть веществ и насыщая ее продуктами метаболизма. При сравнительно длительном существовании популяций они меняют свое окружение в неблагоприятную сторону и как результат — оказываются вытесненными популяциями других видов, для которых вызванные преобразования среды оказываются экологически выгодными. В биоценозе происходит таким образом смена господствующих видов. Здесь четко прослеживается *правило* (принцип) *экологического дублирования* (рис. 12.35). Длительное существование биоценоза возможно лишь в том случае, если изменения среды, вызванные деятельностью одних живых организмов благоприятны для других, с противоположными требованиями.

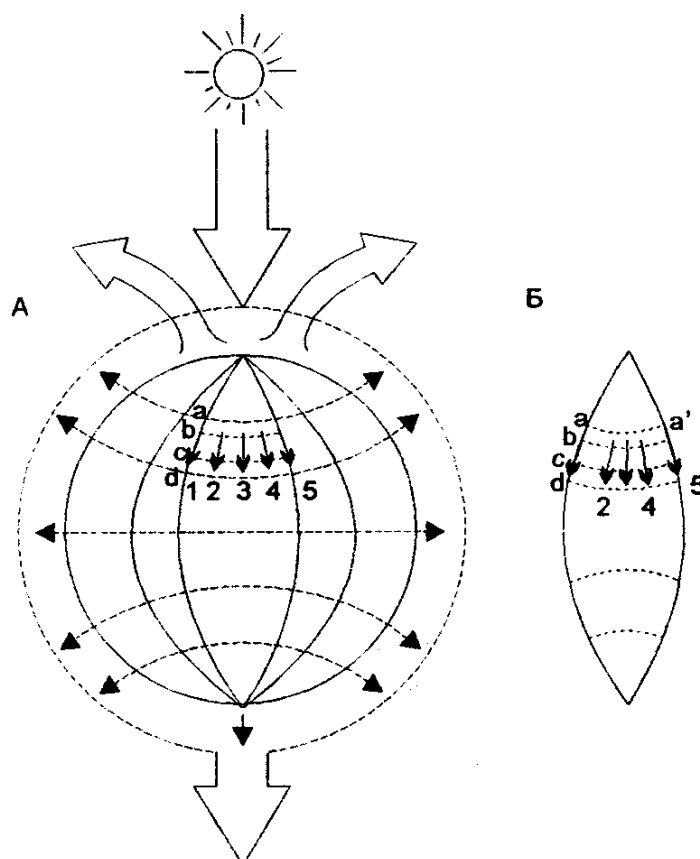


Рис. 12.35. Поток энергии и механизм обеспечения надежности биотических систем в биосфере (по Н. Ф. Реймерсу, 1994):

1, 2, 3... — потоки энергии через виды; а-а'... — связи между ними, А — состояние до исчезновения вида; Б — вид 3 исчез, проходившие через него потоки энергии идут через дублирующие виды 2 и 4

На основе конкурентных взаимодействий видов в ходе сукцессии происходит постепенное формирование более устойчивых комбинаций, соответствующих конкретным абиотическим условиям среды. Пример сукцессии, приводящей к смене одного сообщества другим, — зарастание небольшого озера с последующим появлением на его месте болота, а затем леса (рис. 12.36).

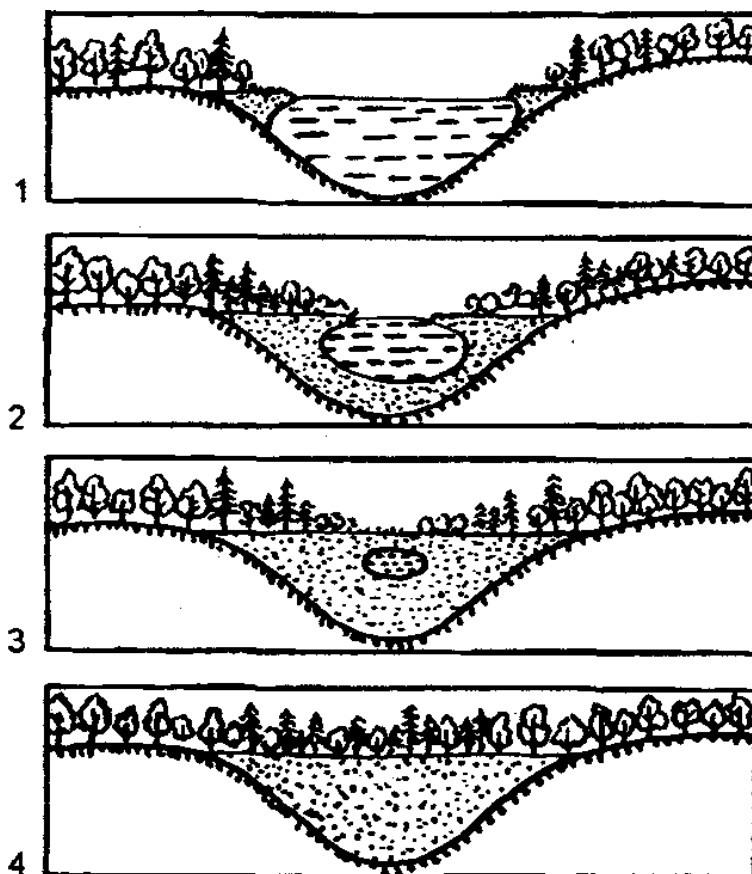


Рис. 12.36. Сукцессия при зарастании небольшого озера
(по А.О. Рувинскому и др., 1993)

Вначале по краям озера образуется сплавна — плавающий ковер из осок, мхов и других растений. Постоянно озеро заполняется отмершими остатками растений — торфом. Образуется болото, постепенно зарастающее лесом. Последовательный ряд постепенно и закономерно сменяющих друг друга в сукцессии сообществ называется *сукцессионной серией*.

Сукцессии в природе чрезвычайно разномасштабны. Их можно наблюдать в банках с культурами, представляющими собой планктонные сообщества — различные виды плавающих водорослей и их потребителей — коловраток, жгутиковых в лужах и прудах, на заброшенных пашнях, выветрившихся скалах и др. В организации экосистем иерархичность проявляется и в сукцессионных процессах — более крупные преобразования биоценозов складываются из более мелких. В стабильных экосистемах с отрегулированным круговоротом веществ также постоянно осуществляются локальные сукцессионные смены, поддерживающие сложную внутреннюю структуру сообществ.

Типы сукцессионных смен. Выделяют два главных типа сукцессионных смен: 1 — с участием автотрофного и гетеротрофного населения; 2 — с участием только гетеротрофов. Сукцессии второго типа совершаются лишь в таких условиях, где создается предварительный запас или постоянное поступление органических соединений, за счет которых и существует

сообщество: в кучах или буртах навоза, в разлагающейся растительной массе, в загрязненных органическими веществами водоемах и т. д.

Процесс сукцессии. По Ф. Клементсу (1916), процесс сукцессии состоит из следующих этапов: 1. Возникновение незанятого жизнью участка. 2. Миграция на него различных организмов или их зачатков. 3. Приживание их на данном участке. 4. Конкуренции их между собой и вытеснение отдельных видов. 5. Преобразование живыми организмами местообитания, постепенной стабилизации условий и отношений. Сукцессии со сменой растительности могут быть первичными и вторичными.

Первичной сукцессией называется процесс развития и смены экосистем на незаселенных ранее участках, начинающихся с их колонизации. Классический пример — постоянное обрастание голых скал с развитием в конечном итоге на них леса. Так, в первичных сукцессиях, протекающих на скалах Уральских гор, различают следующие этапы.

1. Поселение эндолитических и накипных лишайников, сплошь покрывающих каменистую поверхность. Накипные лишайники несут своеобразную микрофлору и содержат богатую фауну простейших, коловраток, нематод. Мелкие клещи — сапрофаги и первичнобескрылые насекомые обнаруживаются сначала только в трещинах. Активность всего населения прерывиста, отмечается главным образом после выпадения осадков в виде дождя или смачивания скал влагой туманов. Данные сообщества организмов называют *пионерными*.

2. Преобладание листоватых лишайников, которые постепенно образуют сплошной ковер. Под круговинками лишайников в результате выделяемых ими кислот и механического сокращения слоевищ при высыхании образуются выщербленности, идет отмирание слоевищ и накопление детрита. В большом количестве под лишайниками встречаются мелкие членистоногие: коллемболы, панцирные клещи, личинки комаров-толкунчиков, сеноеды и другие. Образуется микрогоризонт, состоящий из их экскрементов.

3. Поселение литофильных мхов *Hedwidia* и *Pleurozium schreberi*. Под ними погребаются лишайники и подлишайниковые пленочные почвы. Ризоиды мхов здесь прикрепляются не к камню, а к мелкозему, который имеет мощность не менее 3 см. Колебания температуры и влажности под мхами в несколько раз меньше, чем под лишайниками. Усиливается деятельность микроорганизмов, увеличивается разнообразие групп животных.

4. Появление гипновых мхов и сосудистых растений. В разложении растительных остатков и формировании почвенного профиля постепенно уменьшается роль мелких членистоногих и растет участие более крупных беспозвоночных — сапрофагов: энхитреид, дождевых червей, личинок насекомых.

5. Заселение крупными растениями, способствующее дальнейшему накоплению и образованию почвы. Ее слой оказывается достаточным для развития кустарников и деревьев. Их опадающие листья и ветви не дают расти мхам и большинству других мелких видов, начавших сукцессию. Так, постепенно на изначально голых скалах идет процесс смены лишайников

мхами, мхов травами и наконец лесом. Такие сукцессии в геоботанике называют экогенетически-ми, так как они ведут к преобразованию самого местообитания.

Вторичная сукцессия — это восстановление экосистемы, когда-то уже существовавшей на данной территории. Она начинается в том случае, если уже в сложившемся биоценозе нарушены установившиеся взаимосвязи организмов в результате извержения вулкана, пожара, вырубки, вспашки и т. д. Смены, ведущие к восстановлению прежнего биоценоза, получили название в геоботанике *демутационных*. Примером может служить динамика видового, разнообразия на острове, Кракатау после полного уничтожения аборигенной флоры и фауны вулканическим взрывом в 1893 году (рис. 12.37).

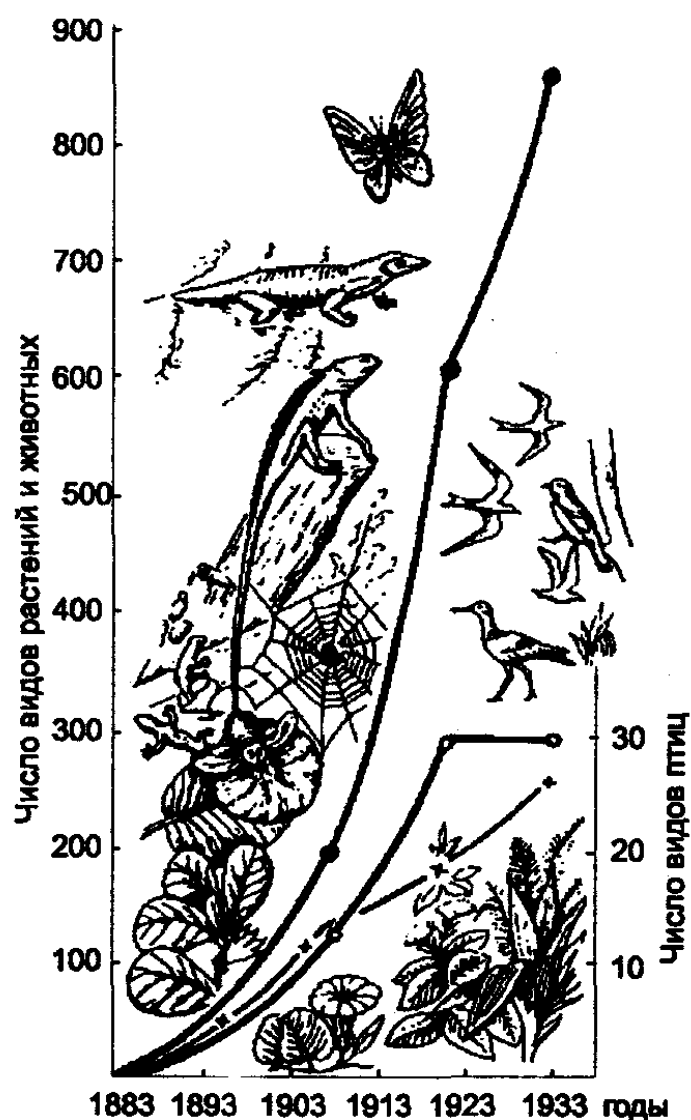


Рис. 12.37. Динамика видового разнообразия на о. Кракатау после полного уничтожения аборигенной флоры и фауны вулканическим взрывом в 1893 г. (по Р. МакАртуру и Е. О. Вильсону, 1967)

Примечание крестики — число видов растений, светлые кружки — число видов гнездящихся птиц, зачерненные кружки — суммарное число видов растений и животных

Другой пример, вторичная сукцессия сибирского темно-хвойного леса (пихтово-кедровой тайги) после опустошительного лесного пожара (рис. 12.38). На более выжженных местах из спор, занесенных ветром, появляются мхи-пионеры: через 3—5 лет после пожара наиболее обильны «пожарный мох» — *Funaria hygrometrica*, *Geratodon*, *purpureus*, и др. Из высших растений весьма быстро заселяют гари Иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*), который уже через 2—3 месяца обильно цветет на пожарище, а также вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*) и другие виды.

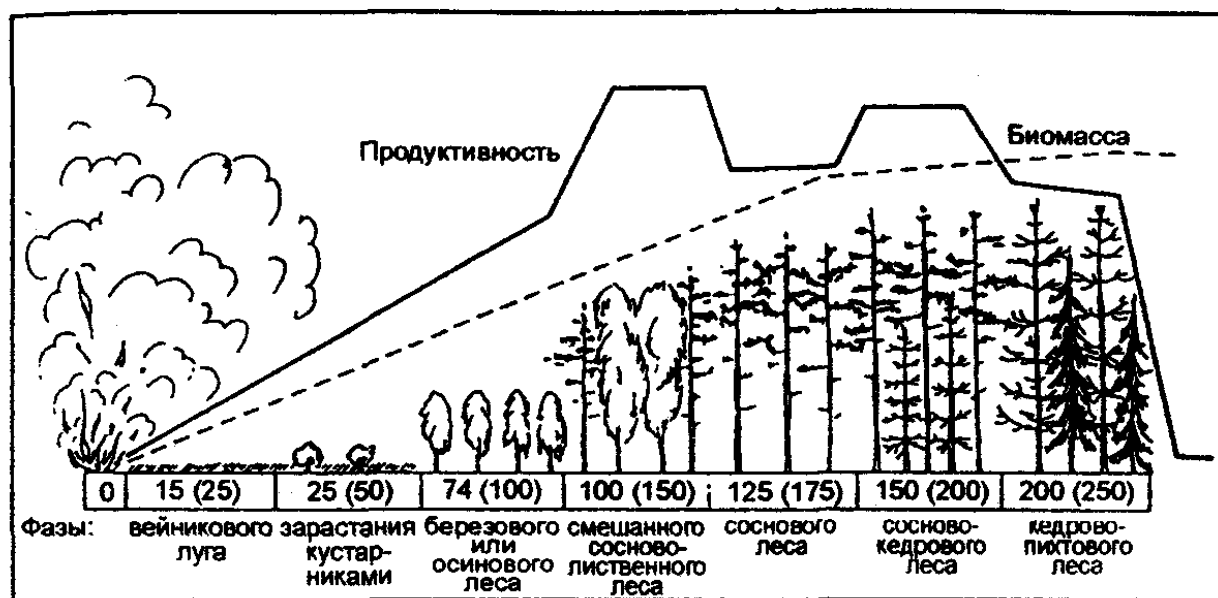


Рис. 12.38. Вторичная сукцессия сибирского темно-хвойного леса (пихтово-кедровой тайги) после опустошительного лесного пожара (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Примечание: числа в прямоугольниках — колебания в длительности прохождения фаз вторичной сукцессии (в скобках указан срок их окончания). Биомасса и биологическая продуктивность показаны в произвольном масштабе (кривые отражают качественную и количественную стороны процесса)

Наблюдается дальнейшее происхождение фаз сукцессии: вейниковый луг сменяется кустарниками, затем березовым или осиновым лесом, смешанным сосново-лиственным лесом, сосновым лесом, сосново-кедровым лесом, и, наконец, через 250 лет происходит восстановление кедрово-пихтового леса.

Вторичные сукцессии совершаются, как правило, быстрее и легче, чем первичные, так как в нарушенном местообитании сохраняется почвенный профиль, семена, зачатки и часть прежнего населения и прежних связей. Демутация не является повторением какого-либо этапа первичных сукцессии.

Климаксовая экосистема. Сукцессия завершается стадией, когда все виды экосистемы, размножаясь, сохраняют относительно постоянную численность и дальнейшей смене ее состав не происходит. Такое равновесное состояние называют *климаксом*, а экосистему — *климаксовой*. В разных абиотических условиях формируются неодинаковые климаксовые экосистемы. В жарком и влажном климате это будет дождевой тропический

лес, в сухом и жарком — пустыня. Основные биомы земли — это климаксовые экосистемы соответствующих географических областей.

Изменения в экосистеме во время сукцессии. Продуктивность и биомасса. Как уже отмечалось, сукцессия является закономерным, направленным процессом, а изменения, которые происходят на той или иной ее стадии, свойственны любому сообществу и не зависят от его видового состава или географического местоположения. Основными называют четыре типа сукцессионных изменений.

1. В процессе сукцессии виды растений и животных непрерывно сменяются. 2. Сукцессионные изменения всегда сопровождаются повышением видового разнообразия организмов. 3. Биомасса органического вещества увеличивается по ходу сукцессии. 4. Снижение чистой продукции сообщества и повышение интенсивности дыхания — важнейшие явления сукцессии.

Следует также отметить, что смена фаз сукцессии идет в соответствии с определенными правилами. Каждая фаза готовит среду для возникновения последующей. Здесь действует *закон последовательности прохождения фаз развития*: фазы развития природной системы могут следовать лишь в эволюционно закрепленном (исторически, экологически обусловленном) порядке, обычно от относительно простого к сложному, как правило, без выпадения промежуточных этапов, но, возможно, с очень быстрым их прохождением или эволюционно закрепленным отсутствием. Когда экосистема приближается к состоянию климакса, в ней, как и во всех равновесных системах, происходит замедление всех процессов развития. Это положение находит отражение в *законе сукцессионного замедления*: процессы, идущие в зрелых равновесных экосистемах, находящихся в устойчивом состоянии, как правило, проявляют тенденцию к снижению темпов. При этом восстановительный тип сукцессии меняется на вековой их ход, т. е. саморазвитие идет в пределах климакса или узлового развития. Эмпирический закон сукцессионного замедления является следствием *правила Г. Одума и Р. Пинкертонна, или правила максимума энергии поддержания зрелой системы*: сукцессия идет в направлении фундаментального сдвига потока энергии в сторону увеличения ее количества, направленного на поддержание системы. Правило Г. Одума и Р. Пинкертонна, в свою очередь, базируется на правиле максимума энергии в биологических системах, сформулированном А. Лоткой. Вопрос этот в дальнейшем был хорошо разработан Р. Маргалефом, Ю. Одумом и известен как доказательство *принципа «нулевого максимума»*, или минимализации прироста в *зрелой экосистеме*: экосистема в сукцессионном развитии стремится к образованию наибольшей биомассы при наименьшей биологической продуктивности.

Линдеман (1942) экспериментально доказал, что сукцессии сопровождаются повышением продуктивности вплоть до климаксового сообщества, в котором превращение энергии происходит наиболее эффективно. Данные исследований сукцессии дубовых и дубово-ясеневых лесов показывают, что на поздних стадиях их продуктивность действительно возрастает. Однако при переходе к климаксовому сообществу обычно

происходит снижение общей продуктивности. Таким образом, продуктивность в старых лесах ниже, чем в молодых, которые, в свою очередь, могут иметь меньшую продуктивность, чем предшествовавшие им более богатые видами ярусы травянистых растений. Сходное падение продуктивности наблюдается и в некоторых водных системах. Для этого есть несколько причин. Одна из них то, что накопление питательных веществ в растущей биомассе леса на корню может вести к уменьшению их круговорота. Снижение общей продуктивности могло быть просто результатом уменьшения жизненности особей по мере увеличения их среднего возраста в сообществе.

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

Возрастает также количество образующегося детрита. Главными первичными консументами становятся не травоядные, а детритоядные организмы. Соответствующие изменения происходят и в трофических сетях. Детрит становится основным источником питательных веществ.

В ходе сукцессии увеличивается замкнутость биогеохимических круговоротов веществ. Примерно за 10 лет с момента начала восстановления растительного покрова разомкнутость круговоротов уменьшается со 100 до 10%, а далее она еще больше снижается, достигая минимума в климаксовой фазе. *Правило увеличения замкнутости биогеохимического круговорота веществ в ходе сукцессии*, со всей уверенностью можно утверждать, нарушается антропогенной трансформацией растительности и вообще естественных экосистем. Несомненно, это ведет к длинному ряду аномалий в биосфере и ее подразделениях.

Снижение разнообразия видов в климаксе не означает малой его экологической значимости. Разнообразие видов формирует сукцессию, ее направление, обеспечивает заполненность реального пространства жизнью. Недостаточное количество видов, составляющих комплекс, не могло бы сформировать сукцессионный ряд, и постепенно, с разрушением климаксовых экосистем произошло бы полное опустынивание планеты. Значение разнообразия функционально как в статике, так и в динамике. Следует отметить, что там, где разнообразие видов недостаточно для формирования биосферы, служащей основой нормального естественного хода сукцессионного процесса, а сама среда резко нарушена, сукцессия не достигает фазы климакса, а заканчивается узловым сообществом — *параклимаксом*, длительно или кратковременно производным сообществом. Чем глубже нарушенность среды того или иного пространства, тем на более ранних фазах оканчивается сукцессия.

При потере одного или группы видов в результате их уничтожения (антропогенное исчезновение местообитаний, реже вымирание) достижение климакса не является полным восстановлением природной обстановки. Фактически это новая экосистема, потому что в ней возникли новые связи, утеряны многие старые, сложилась иная «притертость» видов. В старое

состояние экосистема вернуться не может, так как утерянный вид восстановить невозможно.

При изменении любого абиотического или биотического фактора, например, при устойчивом похолодании, интродукции нового вида, вид, который плохо приспособлен к новым условиям, ожидает один из трех путей (рис. 12.39).

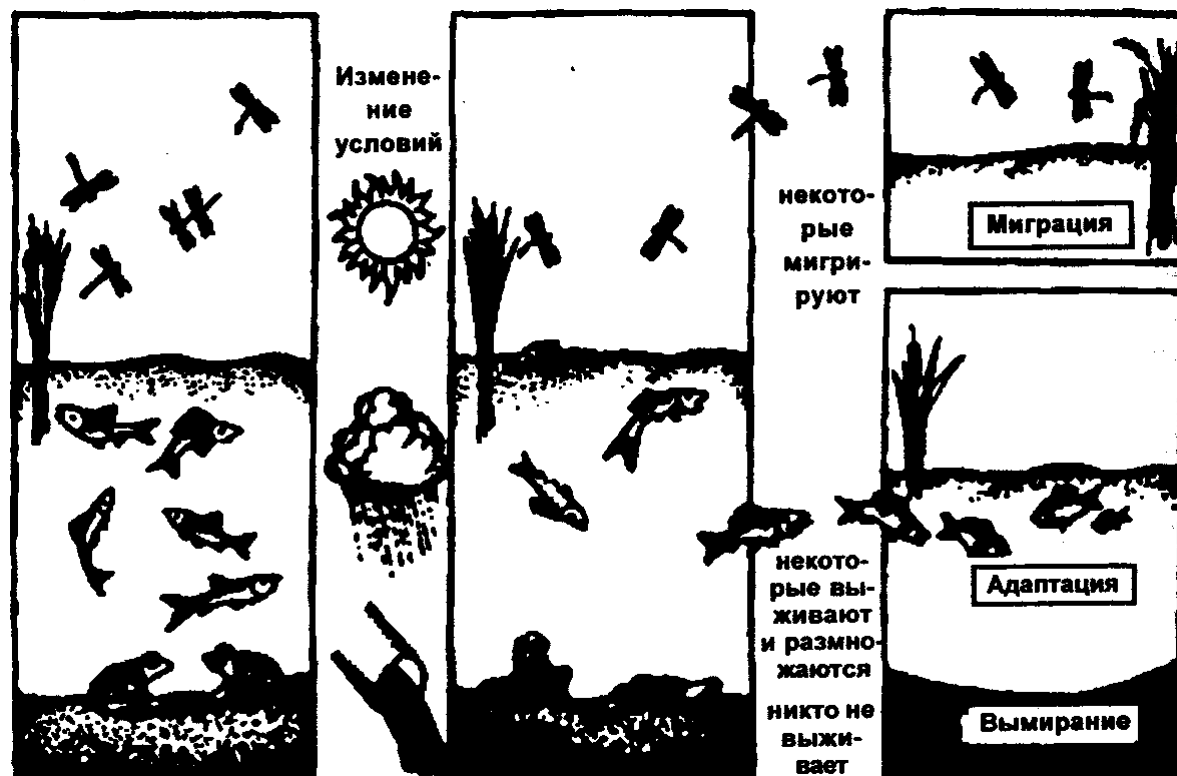


Рис. 12.39. Эволюционная сукцессия (по Б. Небелу, 1993)

1. *Миграция*. Часть популяции может мигрировать, найти местообитания с подходящими условиями и продолжить там свое существование.

2. *Адаптация*. В генофонде могут присутствовать аллели, которые позволят отдельным особям выжить в новых условиях и оставить потомство. Через несколько поколений под действием естественного отбора возникает популяция, хорошо приспособленная к изменившимся условиям существования.

3. *Вымирание*. Если ни одна особь популяции не может мигрировать, опасаясь воздействия неблагоприятных факторов, а те уходят за пределы устойчивости всех индивидов, то популяция вымрет, а ее генофонд исчезает. Если одни виды вымирают, а выжившие особи других размножаются, адаптируются и изменяются под действием естественного отбора, можно говорить об *эволюционной сукцессии*.

Закон эволюционно-экологической необратимости гласит: экосистема, потерявшая часть своих элементов или сменившаяся другой в результате дисбаланса экологических компонентов, не может вернуться к первоначальному своему состоянию в ходе сукцессии, если в ходе изменений

произошли эволюционные (микроэволюционные) перемены в экологических элементах (сохранившихся или временно утерянных). В том случае, когда какие-то виды утеряны в промежуточных фазах сукцессии, то данная потеря может быть функционально скомпенсирована, но не полностью. При снижении разнообразия за критический уровень, ход сукцессии искажается, и фактически климакс, идентичный прошлому, достигнут не может быть.

Для оценки характера восстановленных экосистем закон эволюционно-экологической необратимости имеет важное значение. При потере элементов это, по сути дела, совершенно экологически новые природные образования с вновь образовавшимися закономерностями и связями. Так, перенос в прошлом выбывшего из состава экосистемы вида в ходе его реакклиматизации не является механическим его возвращением. Это фактически внедрение нового вида в обновленную экосистему. Закон эволюционно-экологической необратимости подчеркивает направленность эволюции не только на уровне биосистем, но и на всех других иерархических уровнях сложения биоты.

12.10. Биосфера как глобальная экосистема

Биосфера является глобальной экосистемой. Как уже было отмечено ранее, биосфера расчленена на *геобиосферу*, *гидробиосферу* и *аэробIOSферу*. Геобиосфера имеет подразделения в соответствии с **основными** средообразующими факторами: террабиосфера и литобиосфера—в пределах геобиосферы, маринобиосфера (океа-нобиосфера) и аквабиосфера — в составе гидробиосферы. Данные образования называют подсферами. Ведущим средообразующим фактором в их образовании является физическая фаза среды жизни: воздушно-водная в аэробIOSфере, водная (пресноводная и соленоводная) в гидробиосфере, твердо-воздушная в террабиосфере и твер-доводная в литобиосфере.

В свою очередь, все они распадаются на слои: аэробIOSфера — на тропобиосферу и альтобиосферу; гидробиосфера — на фотосферу, дисфотосферу и афотосферу.

Структурообразующие факторы здесь, помимо физической среды, энергетика (свет и тепло), особые условия формирования и эволюции жизни — эволюционные направления проникновения биоты на сушу, в ее глубины, в пространства над землей, бездны океана, несомненно, различны. Вместе с апобиос-ферой, парабиосферой и другими под- и надбиосферными слоями они составляют так называемый «слоеный пирог жизни» и геосферы (экосферы) ее существования в пределах границ мегабиосферы (рис. 12.40).



Рис. 12.40. Протяженность биосферы по вертикали и соотношение поверхностей, занятых основными структурными единицами (по Ф. Рамаду, 1981)

Перечисленные образования в системном отношении — это крупные функциональные части фактически общеземной или субпланетарной размерности. Общая иерархия подсистем биосферы представлена на рис. 12.41.

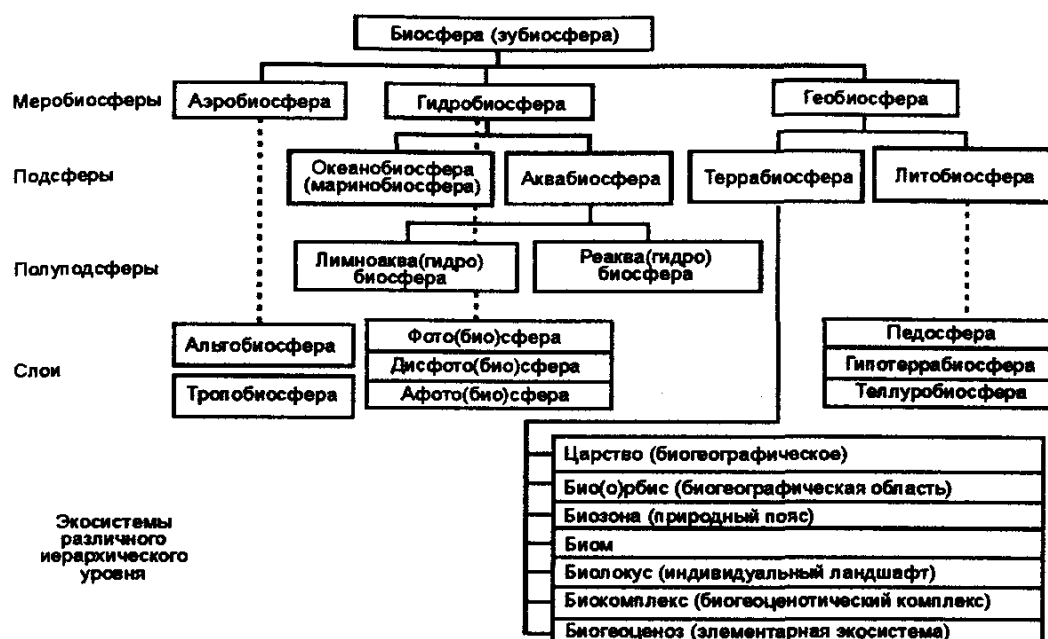


Рис. 12.41. Иерархия экосистем биосферы (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

Ученые считают, что в биосфере имеется восемь - девять уровней относительно самостоятельных круговоротов веществ в пределах взаимосвязей семи основных вещественно-энергетических экологических компонентов и восьмого — информационного (рис. 12.42).

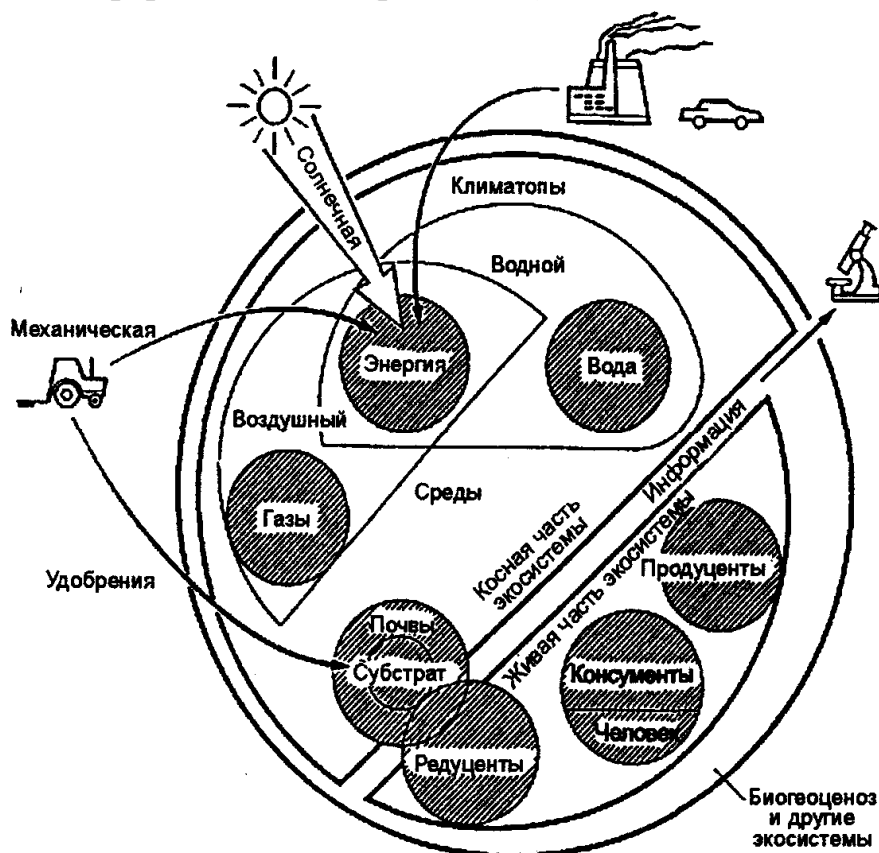


Рис. 12.42. Экологические компоненты (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

Глобальные, региональные и местные круговороты веществ незамкнуты и в рамках иерархии экосистем частично «пересекаются». Это вещественно-энергетическое, а отчасти и информационное «сцепление» обеспечивает целостность экологических надсистем вплоть до биосферы в целом.

Общие закономерности организации биосферы. Биосферу формируют в большей степени не внешние факторы, а внутренние закономерности. Важнейшим свойством биосферы является взаимодействие живого и неживого, нашедшего отражение в законе биогенной миграции атомов В. И. Вернадского, и рассмотрено нами в разделе 12.6.

Закон биогенной миграции атомов дает возможность человечеству сознательно управлять биогеохимическими процессами как в целом на Земле, так и в ее регионах.

Количество живого вещества в биосфере, как известно, не подвержено заметным изменениям. Эта закономерность была сформулирована в виде закона константности количества живого вещества В. И. Вернадского: количество живого вещества биосферы для данного геологического периода есть константа. Практически данный закон является количественным следствием закона внутреннего динамического равновесия для глобальной

экосистемы — биосферы. Поскольку живое вещество в соответствии с законом биогенной миграции атомов есть энергетический посредник между Солнцем и Землей, то или его количество должно быть постоянным, или должны меняться его энергетические характеристики. Закон физико-химического единства живого вещества (все *живое вещество* Земли физико-химически едино) исключает значительные перемены в последнем свойстве. Отсюда для живого вещества планеты неизбежна количественная стабильность. Она характерна в полной мере и для числа видов.

Живое вещество как аккумулятор солнечной энергии должно одновременно реагировать как на внешние (космические) воздействия, так и на внутренние изменения. Снижение или увеличение количества живого вещества в одном месте биосферы должно приводить к процессу с точностью наоборот в другом месте, потому что освободившиеся биогены могут быть ассимилированы остальной частью живого вещества или будет наблюдаться их недостаток. Здесь следует учитывать скорость процесса, в случае антропогенного изменения намного более низкую, чем прямое нарушение природы человеком.

Помимо константности и постоянства количества живого вещества, нашедшего отражение в *законе физико-химического единства живого вещества*, в живой природе наблюдается постоянное сохранение информационной и соматической структуры, несмотря на то, что она и несколько меняется с ходом эволюции. Данное свойство было отмечено Ю. Голдсмитом (1981) и получило название *закона сохранения структуры биосферы* — информационной и соматической, или *первого закона экодинамики*.

Для сохранения структуры биосферы живое стремится к достижению состояния зрелости или экологического равновесия. *Закон стремления к климаксу* — *второй закон экодинамики Ю. Голдсмита*, относится к биосфере и другим уровням экологических систем, хотя и имеет специфика — биосфера более закрытая система, чем ей подразделения. Единство живого вещества биосферы и гомологичность строения ее подсистем приводят к тому, что сложно переплетены эволюционно возникшие на ней живые элементы различного геологического возраста и первоначального географического происхождения. Переплетение различных по пространственно-временному генезису элементов во всех экологических уровнях биосферы отражает *правило* или *принцип гетерогенеза живого вещества*. Данное сложение не является хаотичным, а подчинено принципам экологической дополнителности (комплементарности), экологического соответствия (конгруэнтности) и другим закономерностям. В рамках экодинамики Ю. Голдсмита это *третий ее закон* — *принцип экологического порядка, или экологического мутуализма*, указывающий на глобальное свойство, обусловленное влиянием целого на его части, обратного воздействия дифференцированных частей на развитие целого и т. п., которое в сумме ведет к сохранению стабильности биосферы в целом.

Взаимопомощь в рамках экологического порядка, или системный мутуализм, утверждается *законом упорядоченности заполнения пространства*

и пространственно-временной определенности: заполнение пространства внутри природной системы из-за взаимодействия между ее подсистемами упорядочено так, что позволяет реализоваться гомеостатическим свойствам системы с минимальными противоречиями между частями внутри ее. Из данного закона следует невозможность длительного существования «ненужных» природе случайностей, включая и чуждые ей созданные человеком. В число правил мутуалистического системного порядка в биосфере входит и *принцип системной дополнителности*, который гласит, что подсистемы одной природной системы в своем развитии обеспечивают предпосылку для успешного развития и саморегуляции других подсистем, входящих в ту же систему.

К четвертому закону экодинамики Ю. Голдсмита относят закон *самоконтроля и саморегуляции живого*: живые системы и системы под управляющим воздействием живого способны к самоконтролю и саморегулированию в процессе их адаптации к изменениям в окружающей среде. В биосфере самоконтроль и саморегуляция происходят в ходе каскадных и цепных процессов общего взаимодействия — в ходе борьбы за существование естественного отбора (в самом широком смысле этого понятия), адаптации систем и подсистем, широкой коэволюции и т.д. При этом все эти процессы ведут к положительным «с точки зрения природы» результатам — сохранению и развитию экосистем биосферы и ее как целого.

Связующим звеном между обобщениями структурного и эволюционного характера служит правило *автоматического поддержания глобальной среды обитания*: живое вещество в ходе саморегуляции и взаимодействия с абиотическими факторами автодинамически поддерживает среду жизни, пригодную для ее развития. Данный процесс ограничен изменениями, космического и общеземного экосферного масштаба и происходит во всех экосистемах и биосистемах планеты, как каскад саморегуляции, достигающей глобального размаха. Правило автоматического поддержания глобальной среды обитания следует из биогеохимических принципов В. И. Вернадского, правил сохранения видовой среды обитания, относительной внутренней непротиворечивости и служит константой наличия в биосфере консервативных механизмов и одновременно подтверждением правила системно-динамической комплементарности.

О космическом воздействии на биосферу свидетельствует закон *преломления космических воздействий*: космические факторы, оказывая воздействие на биосферу и особенно ее подразделения, подвергаются изменению со стороны экосферы планеты и потому по силе и времени проявления могут быть ослаблены и сдвинуты или даже полностью утратить свой эффект. Обобщение здесь имеет значение в связи с тем, что зачастую идет поток синхронного воздействия солнечной активности и других космических факторов на экосистемы Земли и населяющие ее организмы (рис. 12.43).

Следует отметить, что многие процессы на Земле и в ее биосфере хотя и подвержены влиянию космоса и предполагаются циклы солнечной активности с интервалом в 1850, 600, 400, 178, 169, 88, 83, 33, 22, 16, 11, 5 (11, 1), 6, 5 и 4, 3 года,

сама биосфера и её подразделения не обязательно во всех случаях должны реагировать с той же цикличностью. Космические воздействия системы биосферы могут блокировать нацело или частично.

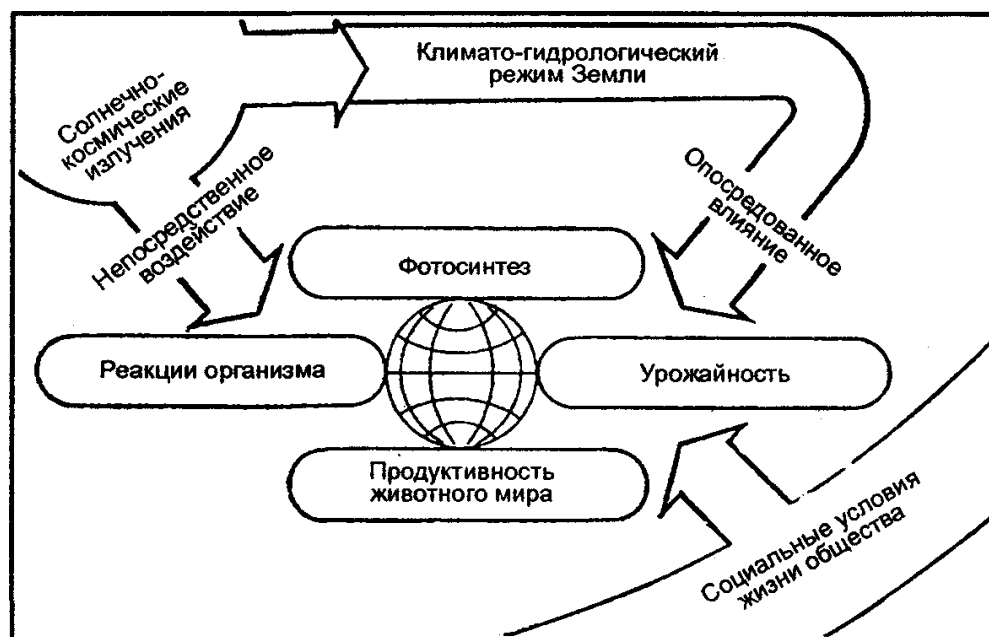


Рис. 12.43. Пути космического влияния на биосферу

12.11. Деятельность человека и эволюция биосферы

Э. И. Колчинский (1988) в эволюции биосферы выделяет следующие тенденции: постепенное увеличение общей ее биомассы и продуктивности; прогрессивное накопление аккумулированной солнечной энергии в поверхностных оболочках Земли; увеличение информационной емкости биосферы, проявляющейся в нарастающем росте органических форм, увеличении числа геохимических барьеров и возрастании дифференцированности физико-географической структуры биосферы; усиление некоторых биогеохимических функций живого вещества и появление новых функций; усиление преобразующего воздействия жизни на атмосферу, гидросферу, литосферу и увеличение роли живого вещества, продуктов его жизнедеятельности в геологических, геохимических и физико-географических процессах; расширение сферы действия биологического (биотического) круговорота и усложнение его структуры. Несомненно, к этому перечню необходимо отнести трансформирующее воздействие на биосферу человеческой деятельности, не исключая нисходящую ветвь эволюции биосферы — все эволюционирующие системы не являются бессмертными, а имеют «начало» и «конец» своего существования. Так, если в эволюции живого вещества имеется непрерывный поток генетической информации, а в геноме человека есть гены от всего ряда его предков, то в составе биосферы имеются виды различного географического возраста — «эиогеноэлементы», или

«биоэлементы», экосистем. Происходит эволюционная замена данных экогенот-элементов (биоэлементов), иногда в региональных рамках полная замена, с исчезновением предшественников.

Не могло не изменить естественных процессов массовое истребление человеком растений и животных, к примеру, плиоценовое исчезновение крупных животных, по всей вероятности, происходило не только из-за прямого преследования, но и в результате нарушения цепей питания, в целом пищевых сетей, что вело к преобразованию экосистем. Современное уничтожение видов, которое идет намного быстрее, чем во времена плиоценового перепромысла, должно вести и ведет к процессам, обратным к названным Э. И. Колчинским — снижается биомасса, продуктивность и информационность биосферы, меняется характер аккумуляции солнечной энергии в поверхностных оболочках планеты и т. п. Отсюда закономерности эволюции биосферы необходимо рассматривать как в прогрессивном, так и в регрессивном плане.

Как нам уже известно, эволюция живого началась с возникновения форм преджизни, а в дальнейшем и праорганизмов (рис. 12.44).

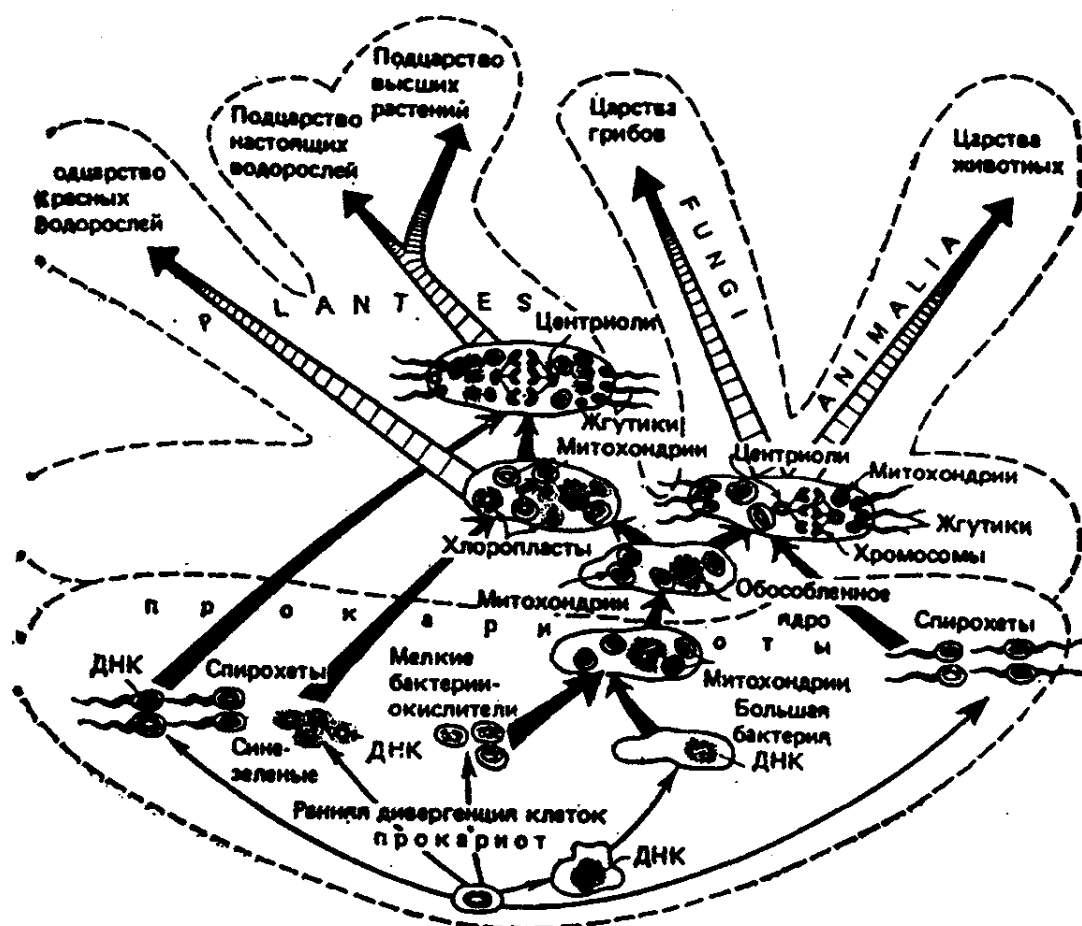


Рис. 12.44. Последовательность этапов симбиогенетического происхождения клеток эукариот, наложенная на родословное дерево клеточных (кариот)

Примечание: показана неоднократность этапов симбиогенеза клетки эукариот

С этого геологического времени начал действовать принцип Реди: живое

происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непроходимая граница, несмотря на то, что имеется постоянное взаимодействие. В дальнейшем данное обобщение было заново сформулировано В. И. Вернадским в 1924 г. Именно этот принцип служит основой для сложения экосистем в рамках таких закономерностей, как разграничение между живым и неживым. Взаимосвязь между ними формирует дополнительность и соответствие внутри биотического сообщества и связь биотоп — биоценоз.

В реальной эволюции принцип Реди проявляется весьма многообразно — способы видообразования, сложения био-, экобио- и экосистем многочисленны, хотя и подчиняются общим законам биологической микро- и макроэволюции, а также экогенез. На разных этапах развития биосферы процессы в ней не были одинаковыми, несмотря на то что шли по аналогичным схемам. Наличие ярко выраженного круговорота веществ, согласно *закону глобального замыкания биогеохимического круговорота*, является обязательным свойством биосферы любого этапа ее развития. Вероятно, это непреложный закон ее существования. Следует особо обратить внимание *на увеличение доли биологического, а не геохимического, компонента в замыкании биогеохимического круговорота веществ*. Ныне существующий тип биогеохимического обмена, состоящий из автотрофов-процудентов, гете-ротрофов-консументов и гетеротрофов-редуцентов со все большим ростом управляющего значения среднего звена, практически сложился в середине мелового периода. Если на первых этапах эволюции преобладал общебиосферный цикл — большой биосферный круг обмена (сначала только в пределах водной среды, а затем разделенный на два подцикла — суши и океана), то в дальнейшем он стал дробиться. Вместо относительно гомогенной биоты появились и все глубже дифференцировались экосистемы различного уровня иерархии и географической дислокации. Приобрели важное значение малые, биогеоценотические, обменные круги. Возник так называемый «обмен обменов» — стройная система биогеохимических круговоротов с высочайшим значением биотической составляющей.

Деятельность человека ведет к гомогенизации систем биосферы. Все больше «стираются» элементарные экосистемы, превращаясь в «монотонные» агросистемы, однообразные по биогеохимическим характеристикам культурные ландшафты. При этом снижается степень замкнутости биогеохимических циклов. Вероятно, в этом заключается секрет накопления в биосфере, и в первую очередь в атмосфере, малых газовых примесей, выброса тех веществ, которые, естественно, образуются в меньшем количестве и обычно ранее утилизируются биотой практически полностью. Чем больше организмы воздействовали на среду биосферы, тем интенсивнее шла эволюция. Этот *принцип максимума эффекта внешней работы, закон саморазвития биосистем или закон исторического развития биологических систем*, был сформулирован в 1935 г. Э. Бауэром: развитие биологических систем является результатом увеличения их внешней работы — воздействия этих систем на окружающую среду.

Физико-математическое подтверждение вышеназванных обобщений дает

теорема порога возрастания энтропии в биосфере, или теорема К. С. Тринчера, выведенная в 1964 г., — продукция энтропии живым веществом биосферы возрастает до порога, определяемого уравнением:

$$\frac{dS_{sp}}{dt} \cdot \frac{dS_{sp}}{dt} \cdot (1 - e^{(-t/r)}), \quad (12.9)$$

где t — абсолютное время;

r — единица биологического (системно характерного) времени;

S_{sp} — специфическая энтропия одного вида живого,

e — основание натурального логарифма.

Важно здесь то, что минимум энтропии возникает при неравномерном распределении веществ в системе. Человеческая деятельность нарушает эту неравномерность, делает живое вещество гомогенным или даже, образно говоря, сдирает «живую кожу» с лица Земли, видоизменяет энтропийные и неэнтропийные процессы.

Антропогенное воздействие на окружающую среду оказалось деструктивным. Эволюция вынуждена идти экстенсивно, под воздействием внешних факторов, с темпом, диктуемым не ходом естественных явлений, а трансформацией природы человеком. Закон исторического развития биосистем работает не в полной мере или совсем не работает в силу того, что роль биотического воздействия на среду относительно снизилась. Преобладает преобразующая деятельность человека (рис. 12.45).

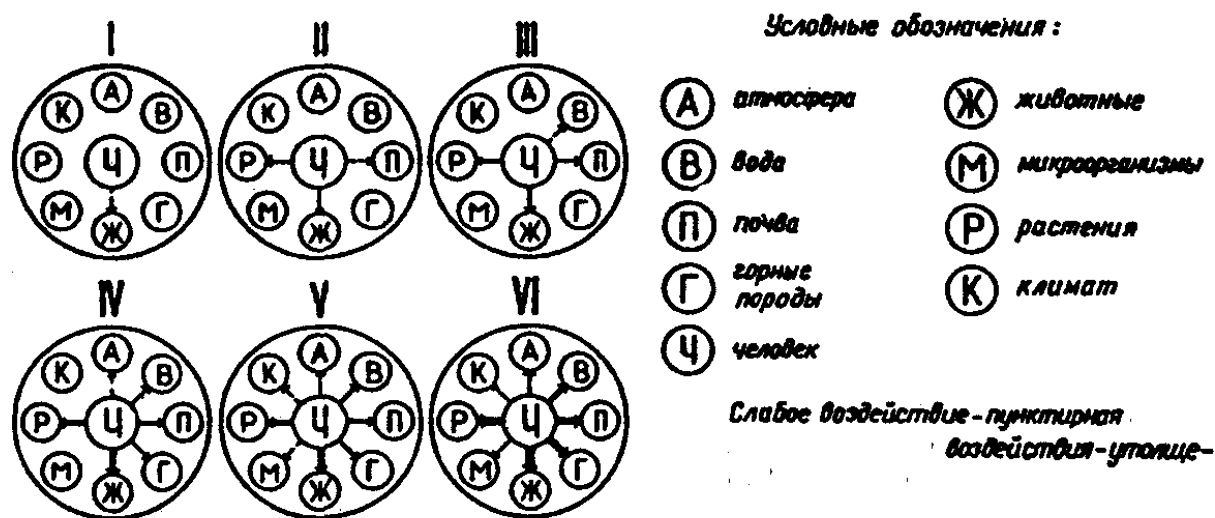


Рис. 12.45. Воздействие человека на природу на разных стадиях развития производства:

I — период до времени использования огня; II — период со времени использования огня, появления и совершенствования примитивных орудий труда (100—10 тыс. лет до н. э.); III — период становления и развития земледелия и скотоводства (10 тыс. лет до н. э. — XIV в.); IV — период развития ремесел, появления и роста мануфактуры, расширения сельскохозяйственного производства (XV—XVIII вв.); V — период машинной индустрии, развития различных отраслей хозяйств (XIX в. — 1-я половина XX в.); VI — период научно-технической революции (2-я половина XX в.).

Здесь вслед за прямым уничтожением видов следует ожидать самодеструкции живого. Этот процесс фактически и идет в виде массового

размножения отдельных организмов, разрушающих сложившиеся экосистемы. Насколько такое положение опасно для биосферы? Все зависит от темпов изменений. Следует учесть, что эволюция биосферы не была равномерной (рис. 12.46), и, несмотря на увеличение степени совершенства биогеохимического круговорота, этот процесс не шел гладко.

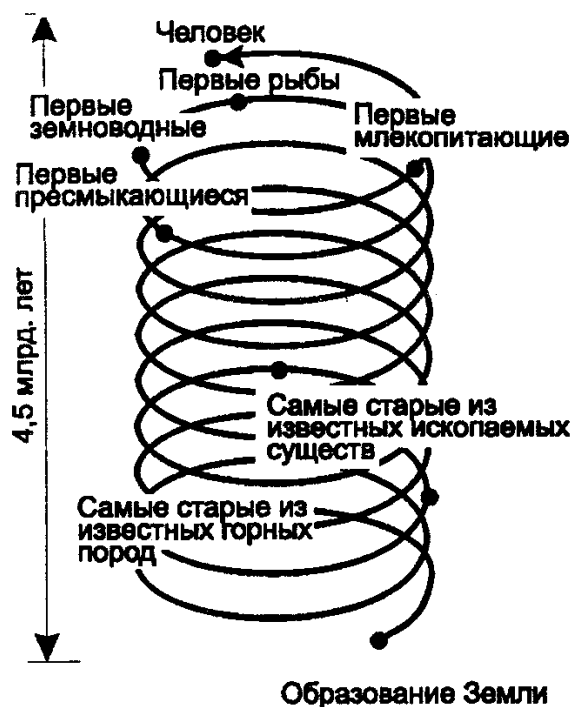


Рис. 12.46. Спираль времени

Закрученная в спираль лента графически изображает 4,5 млрд лет истории Земли. Отсчет времени начинается (нижний конец ленты) с формирования нашей планеты. Стрелками указаны ключевые моменты в эволюции жизни, обнаруживающие относительную молодость млекопитающих как целостной группы, не говоря уже о человеке, время существования которого - 1 млн лет или около того – указано на самом верху ленты. Одно деление нанесенной на ленте шкалы соответствует приблизительно 4,5 млн лет

Сегодня известны эволюционные катастрофы, происшедшие на нашей планете. Например, 650 млн лет назад эволюционно-экологический кризис привел к «внезапному» исчезновению многих видов одноклеточных водорослей. На рубеже 450 млн лет назад вымерло большинство панцирных обитателей океана, 230 млн лет назад исчезли многие виды гигантских амфибий, и, по эволюционным меркам, сравнительно быстро — 65 млн лет назад—вымерли гигантские рептилии и многие виды других групп организмов. Взгляды ученых на вымирание живых организмов неоднозначны. Так, вымирание гигантских рептилий связывают с похолоданием, прошедшим на Земле в результате падения огромного метеорита-астероида (предполагается, что он образовал крупнейший метеоритный кратер на территории современной Мексики). Похолодание привело к срыву инкубации яиц рептилий, а также могло дать преимущества для эволюции ночных групп животных и привести к исчезновению особо теплолюбивых дневных млекопитающих. Конечно, причины вымирания, его механизмы могли быть и другими. К едва заметным на взгляд человека, энергетическим перестройкам ведут даже незначительные

изменения абиотической среды. Одно несомненно — вид никогда не исчезает один, всегда наблюдается изменение пищевых и информационных сетей. Происходит глобальная перестройка на всех уровнях экосистем. Одни виды исчезают, другие их замещают. Это явление находит отражение в *правиле (принципе) катастрофического толчка*: глобальная природная или природно-антропогенная катастрофа (сближение Земли с другим крупным космическим телом, столкновение с астероидом, резкое изменение климата, обеднение биоты и т. д.) всегда приводит к существенным эволюционным перестройкам, которые относительно прогрессивны для природы (адаптируют ее системы к новым условиям среды), но не обязательно полезны для вида или иной систематической категории, в том числе для человека и его хозяйственной деятельности. В связи с тем что отмечаются ускорения и замедления эволюции, действует и *принцип прерывности и непрерывности развития биосферы*: процесс медленного эволюционного изменения организмов закономерно прерывается фазами бурного развития и вымирания практически без переходных (палеонтологических) форм. Здесь интересен не столько механизм эволюции, а сам факт различного ускорения эволюционных процессов и их направленности. В случае, если ведущую роль в отборе играли верхние уровни природных систем и они же фактически направляли эволюцию, то антропогенные изменения биосферы, которые идут с большей скоростью, могут для нового ускорения эволюционных перестроек дать толчок в любой момент, вследствие чего произойдет капитальная перестройка экологических условий на Земле. Человечество как биологическое и социально-экономическое образование к таким преобразованиям едва ли готово. Нужны хотя бы общие показатели-рамки для установления, что является опасным, а что еще не грозит опасностью в ходе эволюции среды и жизни. По мнению ряда ученых, такими критическими показателями могут быть точки Пастера и правила одного и десяти процентов. Как известно из раздела 2.3, основной точкой Л. Пастера является момент, когда уровень содержания кислорода в атмосфере Земли в процессе эволюции составил 1% современного. Аэробная жизнь стала возможной с этого времени, что соответствует геохронологически архею. Считается, что накопление кислорода шло взрывообразно, в течение около 20 тыс. лет (рис. 12.47).

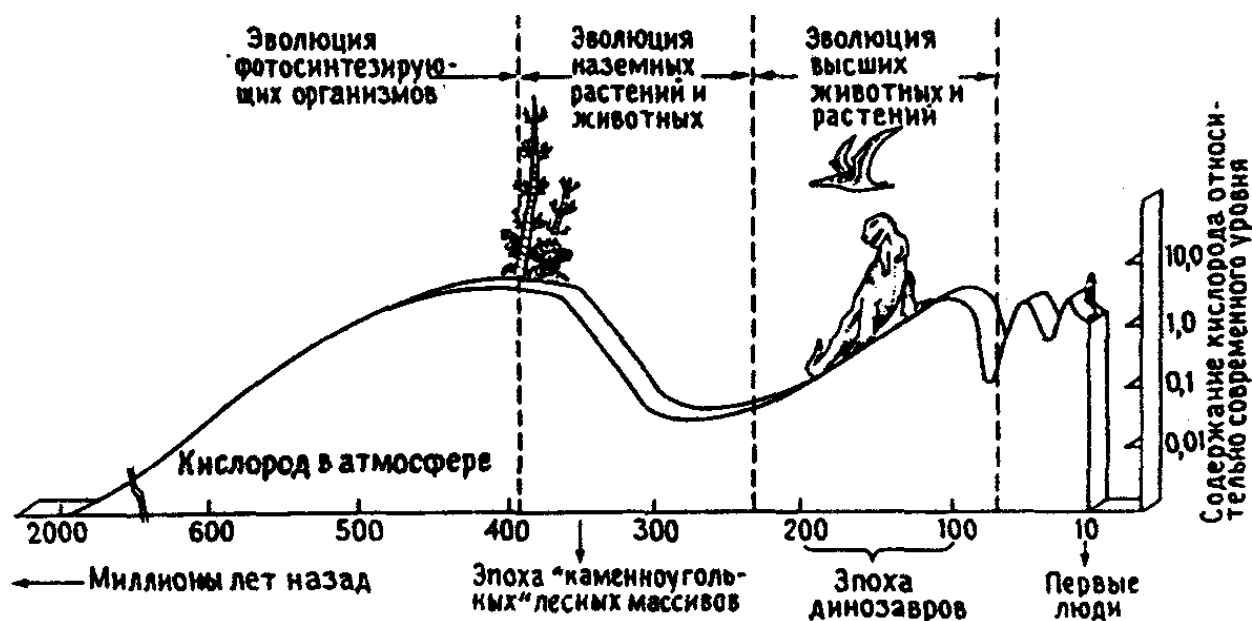


Рис. 12.47. Происхождение кислорода в атмосфере (по Е. Одуму, 1971)

Вторая точка Пастера — достижение также в архее содержания кислорода в атмосфере Земли около 10% современного. Создались предпосылки формирования озоносферы (рис. 12.48). Появилась возможность жизни на мелководьях, а в дальнейшем и на суше.

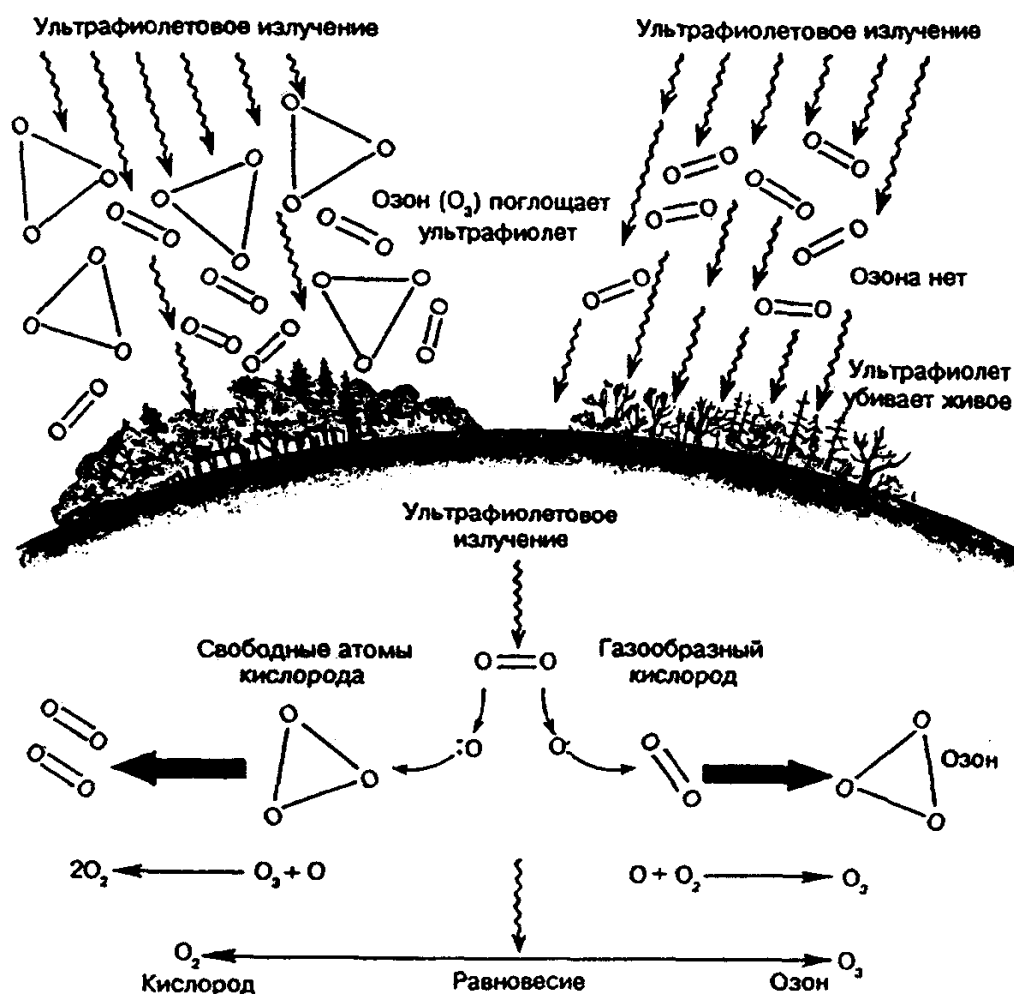


Рис. 12.48. Механизмы образования озонового слоя (внизу) и его роль в атмосфере (вверху), по Е. А. Криксунову и др., 1995

Точки Пастера, как и закон пирамиды энергий Р. Линдемана (раздел 12.7), дали основание для формулировки *правил одного и десяти процентов*, получившего название закона Линдемана. Так называемое «магическое число» 1% возникает из соотношения возможностей потребления-энергии и «мощностей», необходимых для стабилизации среды. Доля возможного для биосферы потребления общей первичной продукции не превышает одного процента, что следует и из закона Р. Линдемана: около 1% чистой первичной продукции в энергетическом выражении потребляют позвоночные животные как консументы высших порядков, около 10% — беспозвоночные животные как консументы низших порядков, оставшуюся часть — бактерии и грибы-сапрофаги. Человечество, как только на грани XIX—XX вв. стало использовать большее количество продукции биосферы (в 90-х гг. XX в. — не менее 10%), так и перестал удовлетворяться *принцип Ле Шателье-Брауна* (примерно с 0,5% общей энергетики биосферы), рис. 12.49 и 12.50.

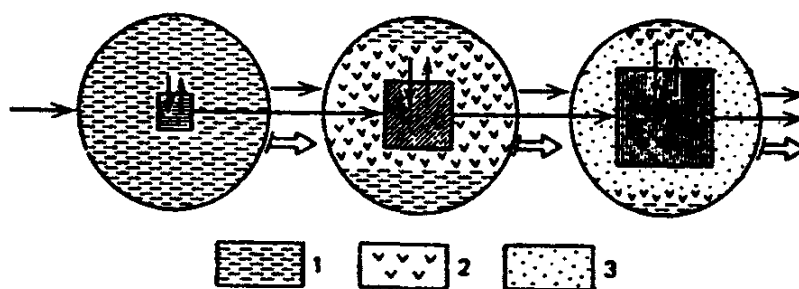


Рис. 12.49. Биосфера и человек-модель развития системы их взаимоотношений (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Примечание: толщина стрелок внутри кругов отражает силу воздействий; 1—3 — фазы преобразования природы человеком (промышленная, скотоводческо-земледельческая, индустриальная)

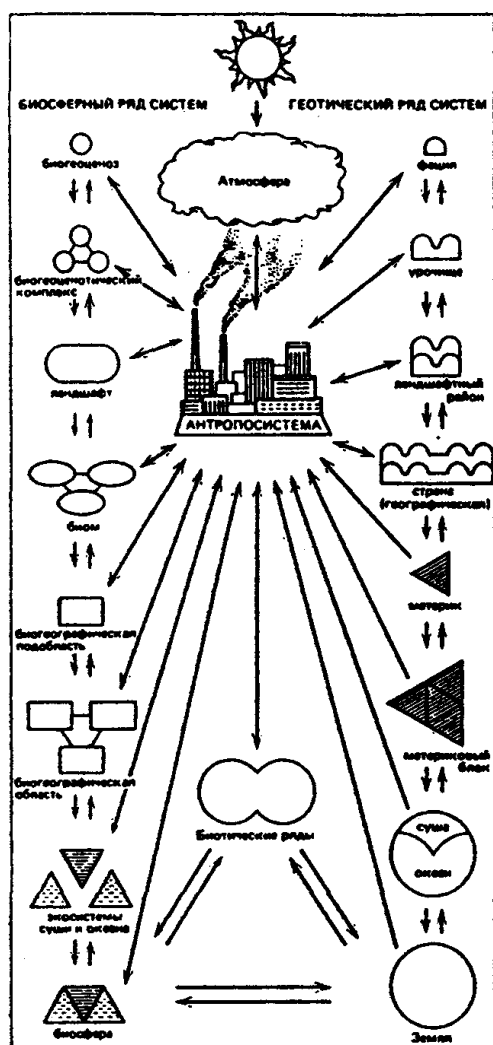


Рис. 12.50. Иерархические ряды природных систем и их связи с антропосистемой нашего времени (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Примечание: человечество оказывает влияние на всю планету в целом, за исключением крупных геосистем

Принцип Ле Шателье-Брауна гласит, что при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Так, растительность не давала прироста биомассы в соответствии с увеличением концентрации CO_2 и т. д. Прирост связанного растениями

углерода наблюдался лишь в XIX в.

Достаточно признанным считается порог потребления 5—10% суммы вещества, который приводит с переходом через него к заметным изменениям в системах природы. Он в большей степени принят на эмпирическо-интуитивном уровне, без различия форм и характера управления в данных системах. Приблизительно намечающиеся переходы для природных систем можно разделить на с организменным и консорционным типом управления и популяционных систем. Для первых порог выхода из стационарного состояния до 1 % от потока энергии или «нормы» потребления и порог саморазрушения составляет около 10% этой «нормы». Для популяционных систем превышение в среднем 10% объема изъятия приводит к выходу этих систем из стационарного состояния.

Обратим внимание на формулировку «выход из стационарного состояния». Для глобальной энергетической системы такой выход, вероятно, происходит в рамках 0,1—0,2% возмущения общепланетных процессов, т. е. значительно раньше, чем наступают сбои в действии принципа Ле Шателье-Брауна и заметные природные аномалии. В подтверждение вышесказанного можно указать на то, что опустынивание начало существенно расти еще в прошлом веке. Трудно доказать или опровергнуть антропогенность климатических процессов, происходящих в последние два столетия.

Эволюционные переходы в биосфере занимают относительно небольшое время. *Правила усиления интеграции биологических систем И. И. Шмальгаузена* гласят, что в процессе эволюции биологические системы становятся все более интегрированными, со все более развитыми регуляторными механизмами, обеспечивающими такую интеграцию. Н. Ф. Реймерс в работе «Системные основы природопользования» указывал на то, что разрушение более трех уровней иерархии экосистем абсолютно необратимо и катастрофично. Для поддержания надежности биосферы обязательна множественность конкурентно взаимодействующих экосистем. Таким путем шла эволюция биосферы. Антропогенные же воздействия нарушают этот ход. *Правило множественности экосистем* вытекает и из правила экологического дублирования, и вообще из теории надежности. Здесь интеграция оказывается «скользящей» по иерархической лестнице экосистем.

12.12. Развитие биосферы в ноосферу — сферу разума

С появлением человеческого общества, под влиянием которого в современных условиях происходит дальнейшая эволюция биосферы, приводит к изменению качественного состава самой биосферы, к ее переходу в ноосферу. Под ноосферой понимают сферу взаимодействия природы и общества, в котором разумная деятельность людей становится главным, определяющим фактором развития. Название «*ноосфера*» происходит от греч. «ноос» — разум и таким образом обозначает сферу разума. Понятие ноосферы ввел в 1927 г. французский ученый-математик Э. Леруа, подразумевая под ним современную

геологическую стадию развития биосферы. Э. Леруа отмечал, что пришел к такому представлению вместе со своим другом — геологом и палеонтологом П. Тейером де Шарденом, который в дальнейшем разработал собственное представление о ноосфере. В книге «Феномен человека» автор определил ноосферу как «новый покров», «мыслящий пласт, который, зародившись в конце третичного периода, разворачивается над миром растений и животных — вне биосферы и над ней».

Научное и практическое значение деятельности В. И. Вернадского как основателя учения о биосфере состоит в том, что он впервые во всеоружии знаний своего времени глубоко обосновал *единство человека и биосферы*. Сама живая материя как носитель разума, отмечал В. И. Вернадский, составляет небольшую часть биосферы по массе. Возникновение человеческого общества явилось результатом длительного развития живого вещества в пределах биосферы. Появление человека на Земле предопределило неизбежность возникновения нового состояния биосферы — переход ее в ноосферу, оболочку разума, охваченную целенаправленной деятельностью самого человека. При этом периоде сознательной деятельности человека предшествовал длительный период его дикого, полудикого и в целом стихийного существования. В пределах биосферы возникла первоначально сфера первобытной деятельности человеческого общества, которую нередко называют *антропос-ферой*. Начало ей положило расселение человека по всей поверхности суши в результате использования огня. Человек, овладев огнем, стал относительно независимым от климата и заселил все континенты, кроме Антарктиды. По свидетельству уникальных палеонтологических находок, человек, зародившись в джунглях Центральной Африки, освоил Европу, Азию, Австралию, а при дальнейшем совершенствовании своего организма достиг просторов Северной и Южной Америки. В ходе развития производительных сил антропосфера, охватывающая стихийную деятельность человеческого общества, объективно должна перейти в ноосферу — сферу сознательной деятельности. В современную эпоху становление ноосферы теснейшим образом связано с овладением различными формами движения материи — первоначально механической, потом тепловой, химической, атомно-ядерной. На очереди овладение биологическими формами движения — создание живых форм с помощью методов и средств биотехнологии и генной инженерии. С этим связано и возникновение новых по качеству круговоротов веществ в биосфере.

В. И. Вернадский, оценивая роль человеческого разума и научной мысли, делает следующие выводы.

1. Ход научного творчества является той силой, которой человек меняет биосферу, в которой он живет.

2. Это проявление изменения биосферы есть неизбежное явление, сопутствующее росту научной мысли.

3. Это изменение биосферы происходит независимо от человеческой воли, стихийно, как природный естественный процесс.

4. А так как среда жизни есть организованная оболочка планеты — биосфера, то вхождение в нее в ходе ее геологически длительного

существования нового фактора ее изменения — научной работы человечества — есть природный процесс перехода биосферы в новую фазу, в новое состояние — ноосферу.

5. В переживаемый нами исторический момент мы видим это более ясно, чем могли видеть раньше. Здесь вскрываются перед нами «законы природы». Новые науки — геохимия и биогеохимия — дают возможность впервые выразить некоторые важные черты процесса математически.

Выводы о том, что биосфера неизбежно превратится в ноосферу, т. е. сферу, где разум человека будет играть доминирующую роль в развитии системы «человек — природа», получили название *закона ноосферы В. И. Вернадского*.

В дальнейшем эволюции биосферы и переходу ее в ноосферу были посвящены научные работы многих зарубежных и отечественных исследователей. Так, М. М. Камшилов (1974), рассматривая эволюцию биосферы, отмечал (рис. 12.51):

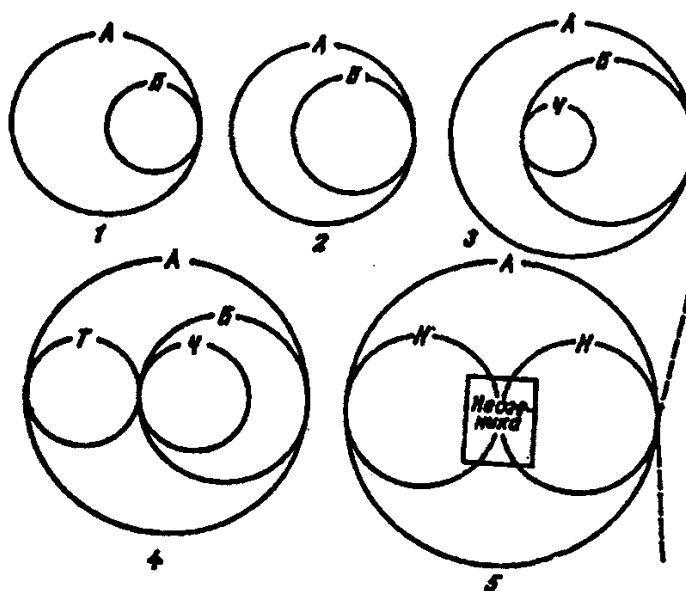


Рис. 12.51. Стадии эволюции биосферы, представленные в виде последовательно вовлекаемых в круговорот циклов (по М. М. Камшилову, 1974)

1 — в большом абиотическом круговороте веществ (А) возникла биосфера (Б);

2 — по мере развития жизни она расширяется;

3 — в ней появляется человеческое общество (Ч);

4 — человеческое общество начинает поглощать вещество и энергию не только через биосферу, но и непосредственно из абиотической среды (Т);

5 — биосфера, превратившаяся в ноосферу (Н), стала развиваться под контролем разумной деятельности человека (ноогенез); управление взаимными отношениями человеческого общества и природы осуществляется с помощью *ноогенетики*, жизнь, развиваясь по пути ноогенеза, все полнее осваивает вещество, энергию и потенциал информации неживой при- | ды,

распространяясь за пределы Земли (пунктирные линии).

В XX в. накопился огромный фактический материал по биосфере, по производственной деятельности человеческого общества. Рождающаяся ноосфера в своих главных проявлениях характеризуется следующими признаками (рис. 12.52).

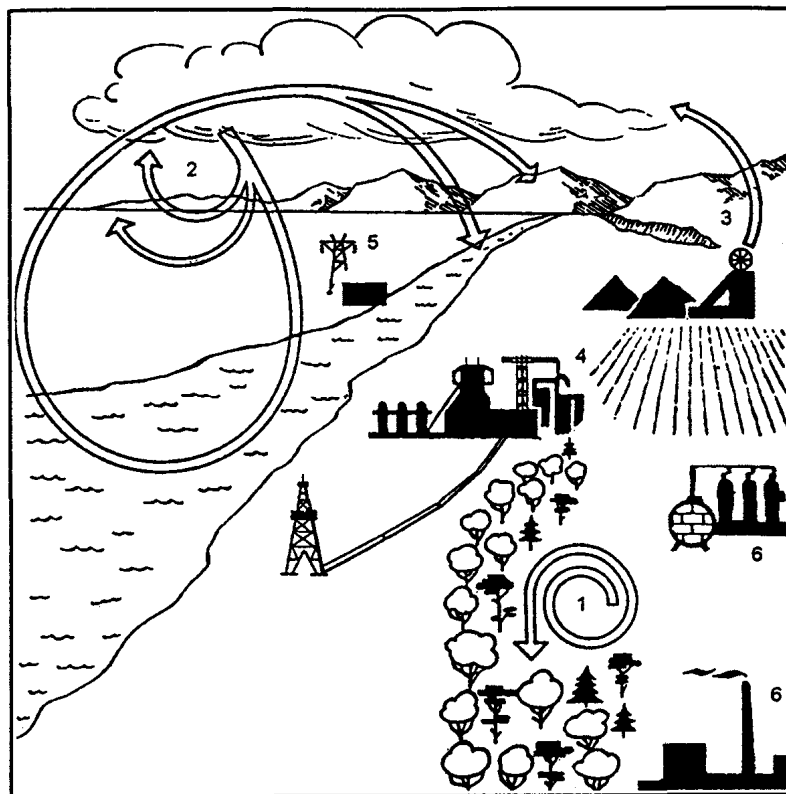


Рис. 12.52. Геохимия ноосферы (по Д. И. Перельману, 1973)

Процессы, унаследованные от биосферы, но существенно измененные в ноосфере: 1 — биологический круговорот атомов; 2 — круговорот воды, водная и атмосферная миграция элементов; 3 — рассеяние элементов — отработка месторождений и т. д. Процессы, чуждые биосфере: 4 — получение металлов и других элементов, неустойчивых в термодинамическом поле биосферы; 5 — производство энергии на атомных электростанциях; 6 — синтез органических веществ, не существовавших в биосфере (полимеры и др.)

1. Возрастающим количеством механически извлекаемого материала литосферы — ростом разработки месторождений полезных ископаемых. В 90-х гг. оно превышало 100 млрд т в год, что в 4 раза больше массы материала, выносимого речным стоком в океан в процессе денудации суши.

2. Массовым потреблением продуктов фотосинтеза прошлых геологических эпох, главным образом в энергетических целях. Химическое равновесие в биосфере в связи с этим смещается в сторону, противоположную глобальному процессу фотосинтеза, что неизбежно приводит к росту содержания углекислого газа в биосфере и уменьшению содержания свободного кислорода.

3. Процессы в ноосфере приводят к рассеиванию энергии Земли, а не к ее накоплению, что являлось характерным для биосферы до появления человека. Возникает важная энергетическая проблема.

4. В ноосфере создаются в массовом количестве вещества, которые ранее в биосфере отсутствовали. Происходит металлизация биосферы.

5. Характерно для ноосферы появление новых трансурановых химических элементов в связи с развитием ядерной технологии и ядерной энергетики. Овладение ядерной энергией происходит за счет деления тяжелых ядер. Предвидится в недалеком будущем получение термоядерной энергии за счет синтеза легких ядер, что позволит полностью отказаться от горючих полезных ископаемых в качестве источника энергии.

6. Ноосфера выходит за пределы биосферы в связи с огромным прогрессом научно-технической революции. Возникла космонавтика, которая обеспечивает выход человека за пределы планеты Земля. Происходит освоение космического, околокосмического пространства с непредвиденными возможностями. Создается принципиальная возможность создания искусственных биосфер на других планетах.

7. С образованием ноосферы планета Земля переходит в новое качественное состояние. Если биосфера — это сфера Земли, то ноосфера — это сфера Солнечной системы. Ноосфера в будущем станет областью Солнечной системы в познавательных и производственных целях человеческого общества.

Таким образом, хаотическое саморазвитие, основанное на процессах естественной саморегуляции, будет заменено разумной стратегией, базирующейся на прогнозно-плановых началах, регулировании процессов естественного развития. Это управление, несомненно, должно быть лишь «мягким» и следовать только законам природы и развития общества. В основе формирования ноосферы могут быть лишь благо и заинтересованное понимание, а не насилие и волюнтаризм. Человечеству придется решать массу тяжелых для нового времени проблем, но это будут иные, чем сегодняшние, проблемы.

Целый ряд ученых (В. Л. Барсуков, А. Л. Яншин, 1988; В. А. Кутырев, 1990 и др.) считают закон ноосферы В. И. Вернадского религиозной или социальной утопией. По их мнению, это мечта и вера, конечно, светлая, но весьма далекая от реальности и недостаточная ни как научный прогноз, ни как определение закона ноосферы. Хотя сам закон они считают справедливым. По их мнению, он точен в том смысле, что если человечество не начнет разумно регулировать свою численность и давление на природу в соответствии с ее законами, то в измененном виде биосфера может сохраниться, а цивилизация, не исключено, и вид «человек разумный» погибнут. Развитие постантропогенной природы весьма трудно прогнозировать. Одно несомненно, считает Н. Ф. Реймерс (1994), *управлять люди будут не природой, а прежде всего собой*. И в этом смысл закона ноосферы В. И. Вернадского.

13. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДУ

13.1. Понятие природы, природных ресурсов

Природа. В широком смысле природа — это весь материально-энергетический и информационный мир Вселенной. Природа — совокупность естественных условий существования человеческого общества, на которую прямо или косвенно воздействует человечество, с которой оно связано в хозяйственной деятельности.

Взаимодействия человека с природой — проблема вечная и одновременно современная: человечество связано своим происхождением с природным окружением, существованием и будущим. Человек как элемент природы является частью сложной системы «природа — общество». За счет природы человечество удовлетворяет многие свои потребности.

Все элементы природы представляют собой *окружающую среду*. В понятие «*окружающая среда*» не входят созданные человеком предметы (здания, автомобили и т. д.), так как они окружают отдельных людей, а не общество в целом. Однако участки природы, измененные деятельностью человека (города, сельскохозяйственные угодья, водохранилища, лесополосы), входят в окружающую среду, так как создают среду общества.

В экологии различают понятия «природные условия» и «природные ресурсы». Природные условия — *понятие очень широкое, охватывающее все аспекты природы, о них говорят безотносительно к человеку и его деятельности.*

Природные ресурсы (естественные) — это природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов. К природным ресурсам относят в настоящее время полезные ископаемые, почву, растительность и животный мир, атмосферный воздух, воду, климат, солнечную и космическую радиацию.

Совокупность природных ресурсов и природных условий жизни общества, используемую в настоящее время или которая может быть использована в обозримом будущем, называют *природными благами* (рис. 13.1).

Природные ресурсы классифицируют: по их *использованию* (производственные, здравоохранительные, научные, эстетические и т. д.); по *принадлежности* к тем или иным компонентам природы (минеральные, земельные, лесные, водные, энергетические и др.). По *характеру воздействия человека* природные ресурсы обычно делят на две категории: исчерпаемые и неисчерпаемые (рис. 13.2).

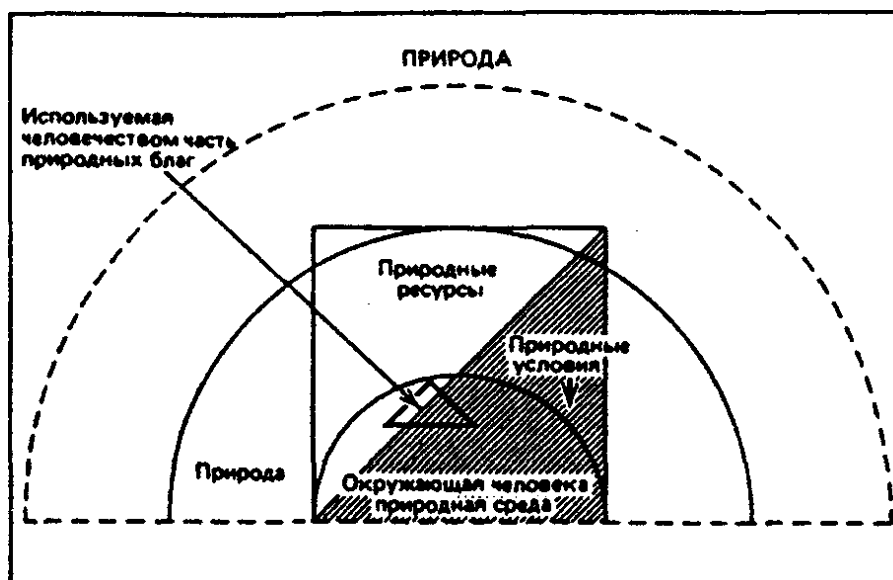


Рис. 13.1. Структура понятия «природные блага»
(по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

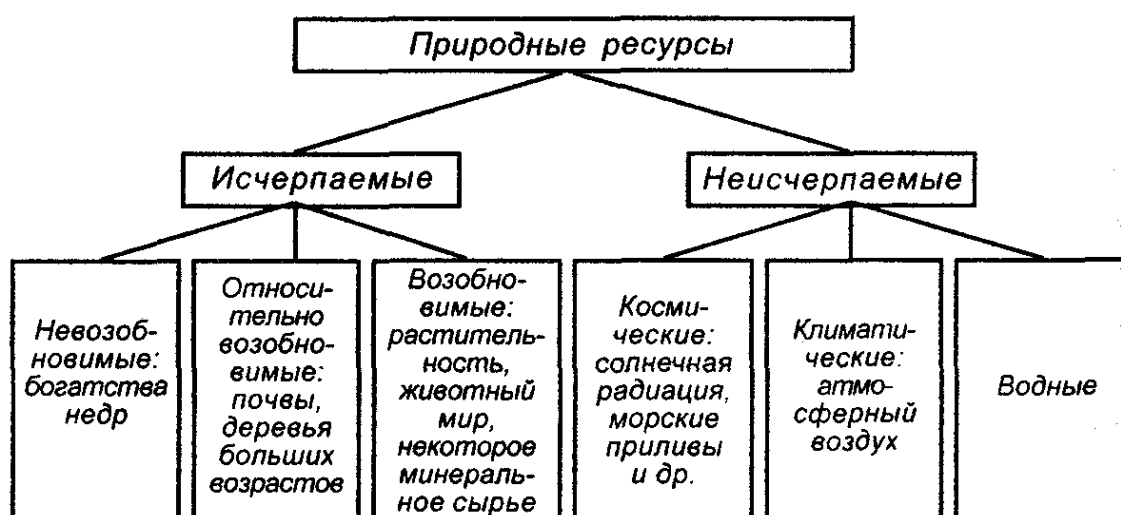


Рис. 13.2. Классификация природных ресурсов

Исчерпаемые природные ресурсы, в свою очередь, подразделяются на невозобновимые, относительно возобновимые и возобновимые. К *невозобновимым* природным ресурсам относятся богатства недр (полезные ископаемые), так как после их добычи и использования они не могут стать тем, чем были раньше, а условия на Земле сегодня для их возникновения или восстановления практически отсутствуют. Почва является *относительно возобновимым* природным ресурсом, так как только при грамотном ее использовании сохраняется плодородие, способность получения высоких урожаев возделываемых культур. К *возобновимым* природным ресурсам относят растительный и животный мир. Они по мере использования могут восстанавливаться. Так, вместо использованных человеком растений и животных нарождаются новые.

К *неисчерпаемым* природным ресурсам относят: *космические* (солнечная радиация, морские приливы и др.), *климатические* (атмосферный воздух, тепло и влага атмосферы, энергия ветра), *водные*.

В последние годы в делении природных ресурсов по признаку истощаемости произошли изменения. К *исчерпаемым* и *невозобновимым* относят минеральные ресурсы, к *исчерпаемым* и *возобновимым* ресурсам: земельные, водные и биологические. Биологические ресурсы подразделяются на растительные и животные. *Неисчерпаемые ресурсы*: энергия Солнца, текучей воды, ветра и климатические.

Та часть природных ресурсов, которая реально может быть вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества, при условии сохранения среды жизни человека, называется *природно-ресурсным потенциалом*. Природно-ресурсный потенциал, экономически оцененный, входит в состав национального богатства. Природно-ресурсный потенциал — важнейшее понятие природопользования.

Природопользование — совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению. Отсюда природопользование будет рациональным, если оно не приводит к резкому изменению природно-ресурсного потенциала. Оно будет рациональным, если человек найдет разумное сочетание растущего воздействия на природу с заботой о ней, с охраной и всемерным воспроизводством природных условий и ресурсов.

13.2. Рост народонаселения

Нами ранее был рассмотрен вопрос о том, что человечество является частью биосферы, продуктом ее эволюции (глава 12.11). Однако взаимоотношения человека и природных сообществ никогда не были безоблачными. С момента изготовления первого примитивного орудия человек уже не довольствуется предметами, созданными природой, а начинает изготавливать, вводить в свой обиход предметы, вещества и т. д., которые находятся за пределами *естественного биологического круговорота*. Человечество является неотъемлемой частью природы, принадлежащей ей и находящейся внутри ее. Благодаря развитию общества биологически и вид *Homo sapiens* был выведен из-под действия естественного отбора, межвидовой конкуренции, ограничения роста численности, что расширило возможности приспособительного поведения и расселения людей. Отклонением от закономерностей равновесия в живой природе стал ускоряющийся рост народонаселения Земли. Число особей какого-либо вида по биологическим законам зависит от потенциала размножения, продолжительности жизни, широты приспособительных возможностей и регулируется естественным отбором — совокупностью экологических факторов. Как правило, мелкие животные более многочисленны, чем крупные. Для многих видов существуют в определенной мере нормативные границы колебаний их наиболее вероятной численности в природе. Отсюда считается, что число особей одного вида

африканских четвертичных гоминид — предков человека — при благоприятных условиях, по всей вероятности, не превышало 500 000 или было намного меньше. Сегодня трудно найти ответ, когда же произошло превышение этой «нормы». Первобытный человек сам расширил свои приспособительные возможности и тем самым ослабил пресс естественного отбора. Приблизительно до начала XVIII в. человечество увеличивалось медленно, со средней скоростью около 1% за столетие, что соответствует удвоению численности за 1000 лет. В дальнейшем скорость прироста начинает увеличиваться и к середине XX в. приобретает гиперэкспоненциальный характер. Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994) приводят данные о том, что в 1969 г. население мира увеличивалось на 2% в год, прирост составлял около 70 млн. человек, или 150 человек в минуту. В 1989 г. прирост в 1,8 % численности возросшего населения дал уже 90 млн человек (179 человек в минуту), или больше, чем когда-либо за всю предыдущую историю человечества. В конце XX в. каждое десятилетие добавляет к общей численности еще 1 млрд человек. В конце 1992 г. население Земли составляло 5,6 млрд. человек, а к 2000 г. достигнет 6,1 млрд человек. Этот стремительный рост называют *демографическим взрывом* (рис. 13.3).

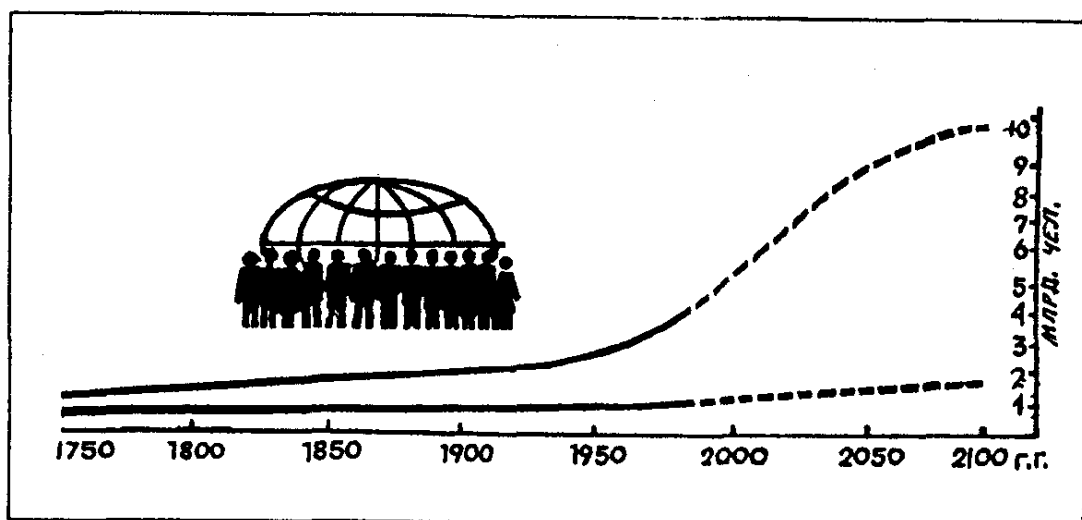


Рис. 13.3. Рост населения Земли (по прогнозам ООН)

Примечание: верхняя линия — рост численности населения развивающихся стран, нижняя — развитых

Тенденция увеличения населения Земли, по всей видимости, будет сохраняться и в первой половине XXI в. По разным оценкам, к 2025 г. на Земле будет от 7,6 до 9,4 млрд человек. Основная доля прироста населения приходится и будет приходиться в будущем на развивающиеся страны. Последствия роста населения представлены на рис. 13.4.

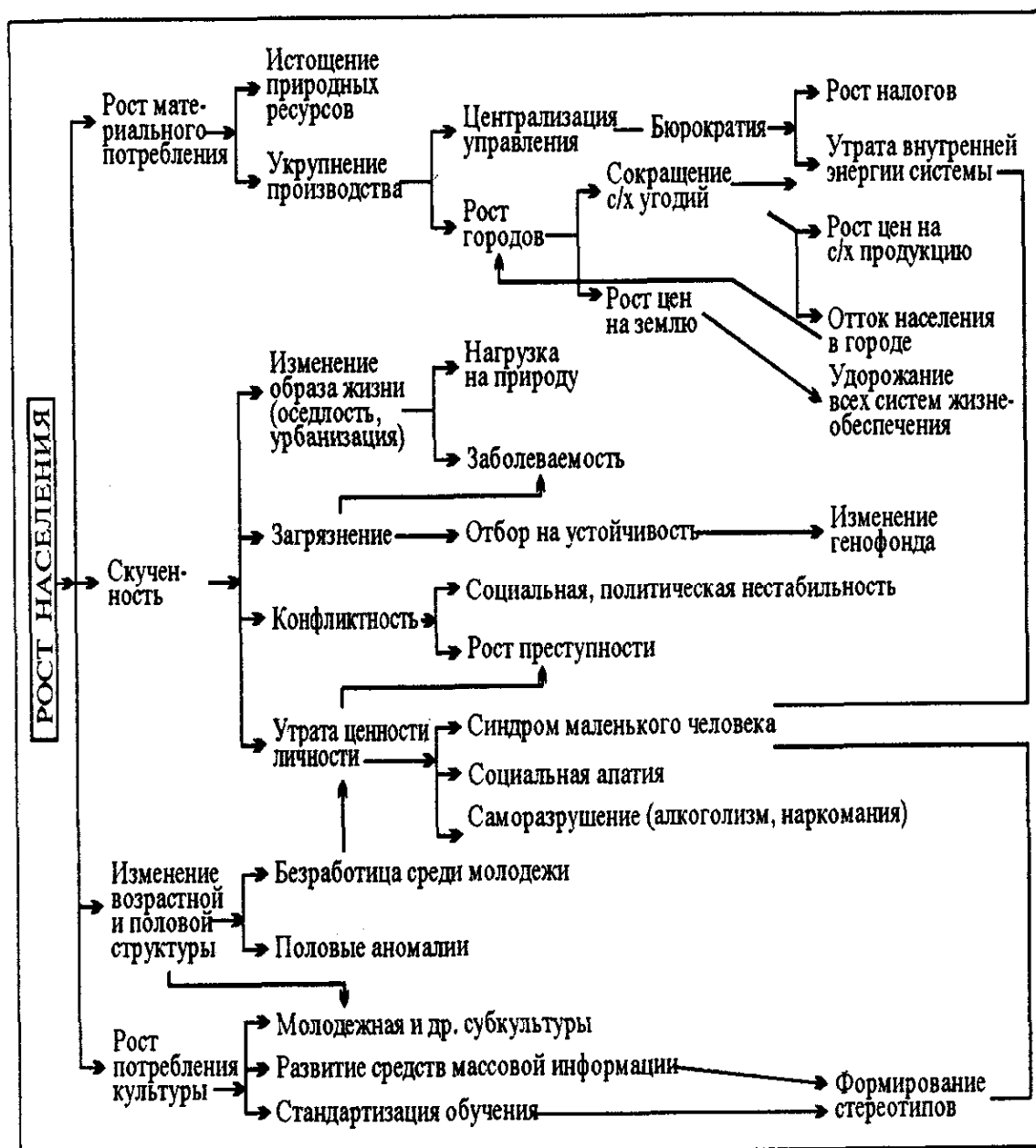


Рис. 13.4. Последствия роста населения (схема типа «модели эффектов»), из В. А. Краоилова, 1992

Процессы, сопровождающие рост населения, практически неизбежно охватывают все сферы жизни. Среди них такие, как рост потребления, рост городов, загрязнение среды, изменение образа жизни, падение уровня жизни, централизация, изменение структуры населения, скученность, массовая культура и т. д.

409

13.3. Антропогенный материальный баланс

За последние сто лет произошли два важных сдвига. Во-первых, резко

увеличилась численность населения Земли. Во-вторых, еще более резко выросло промышленное производство, производство энергии и продуктов сельского хозяйства. В результате потоки вещества и энергии, вызываемые деятельностью человека, стали составлять заметную долю от общей величины биогенного круговорота. Человечество стало оказывать заметное воздействие на функционирование биосферы.

Биологически человек уже на предысторической фазе развития отличался от всех других одинаковых по размеру млекопитающих исключительной подвижностью, проходя за сутки обычно вдвое большее расстояние, чем они. Люди жили в условиях энергетической недостаточности и вынуждены были охранять огромную кормовую территорию, в которой периодически или постоянно кочевали. И несмотря на это, они долгое время находились в рамках весьма скромного энергетического баланса (рис. 13.5).

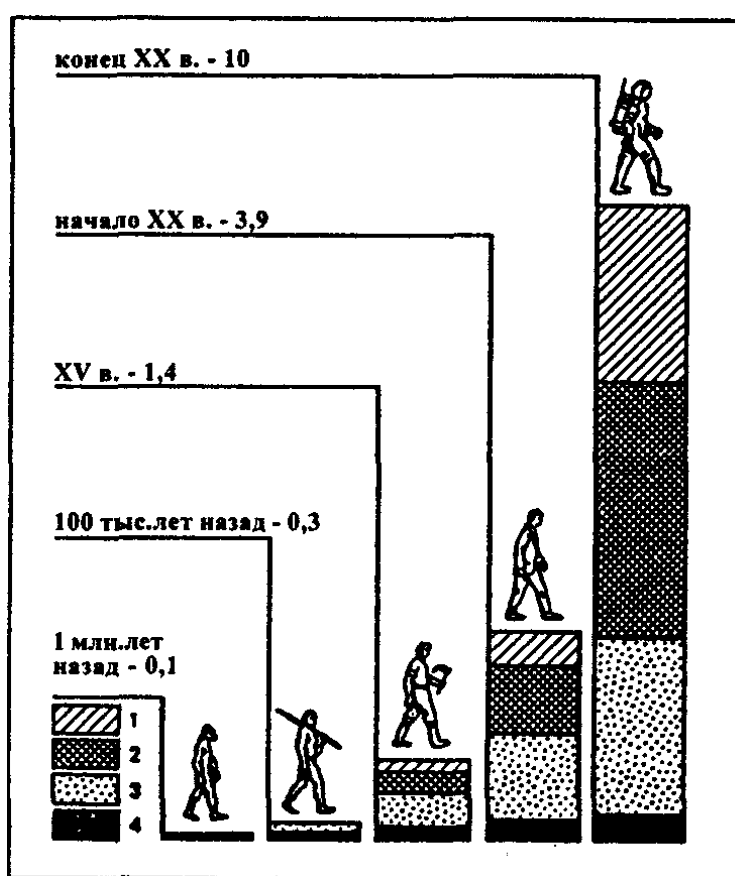


Рис. 13.5. Среднее индивидуальное потребление энергии за год на различных этапах развития человеческого общества и усредненное по странам мира соотношение между валовым общественным продуктом и энергопотреблением (по Н. Ф. Реймерсу, 1990):

1 — пища; 2 — домашние работы и услуги (включая торговлю, обучение и т. п.); 3 — промышленность и сельское хозяйство; 4 — транспорт

Расход энергии на одного человека (в ккал/сут.) в каменном веке был около 4 тыс., в аграрном обществе — 12 тыс., в индустриальную эпоху — 70 тыс., а в передовых развитых странах конца XX в. — 230—250 тыс., т. е. в 58—

62 раза больше, чем у наших далеких предков.

Рост народонаселения требует увеличения продуктов питания, создания новых рабочих мест и расширения промышленного производства. Антропогенный круговорот вещества на Земле в конце XX в. по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) представлен на рис. 13.6.

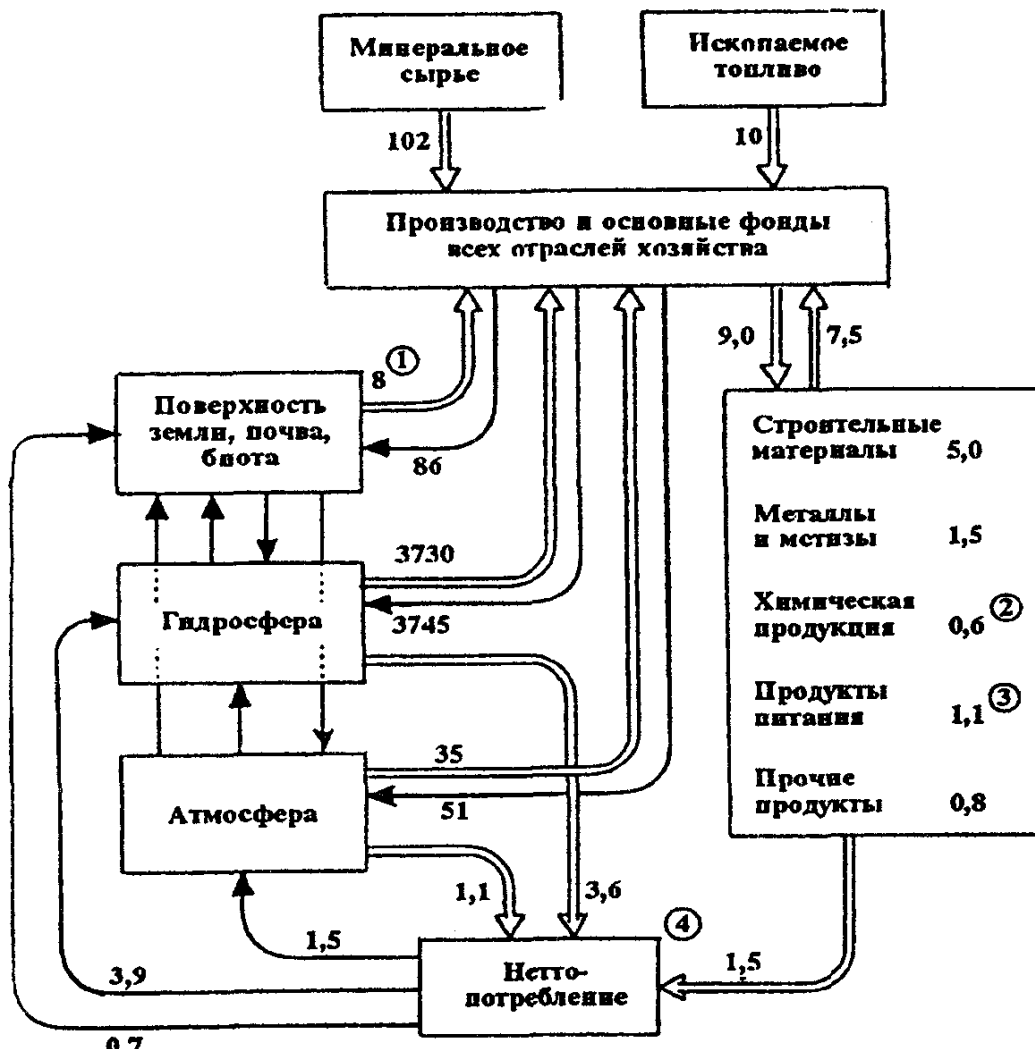


Рис. 13.6. Глобальный антропогенный материальный баланс (ориентировочные данные 1990 г.; Г/год), по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994

Примечание: двойные стрелки — потоки потребления; одинарные стрелки — потоки отходов и загрязнения среды. Условные обозначения (в кружках): 1 — потребление биомассы; 2 — в химическую продукцию входят минеральные удобрения (0,18 Г_т/год) и органическая синтетика (0,12 Г_т/год); 3 — указаны брутто-продукты; нетто-потребление продуктов питания составляет 0,9 Г_т/год; 4 — имеются в виду все товары (продукты, вещества, материалы, изделия) индивидуального пользования

Человек постоянно вовлекает природные ресурсы в *ресурсный цикл* (рис. 13.7).

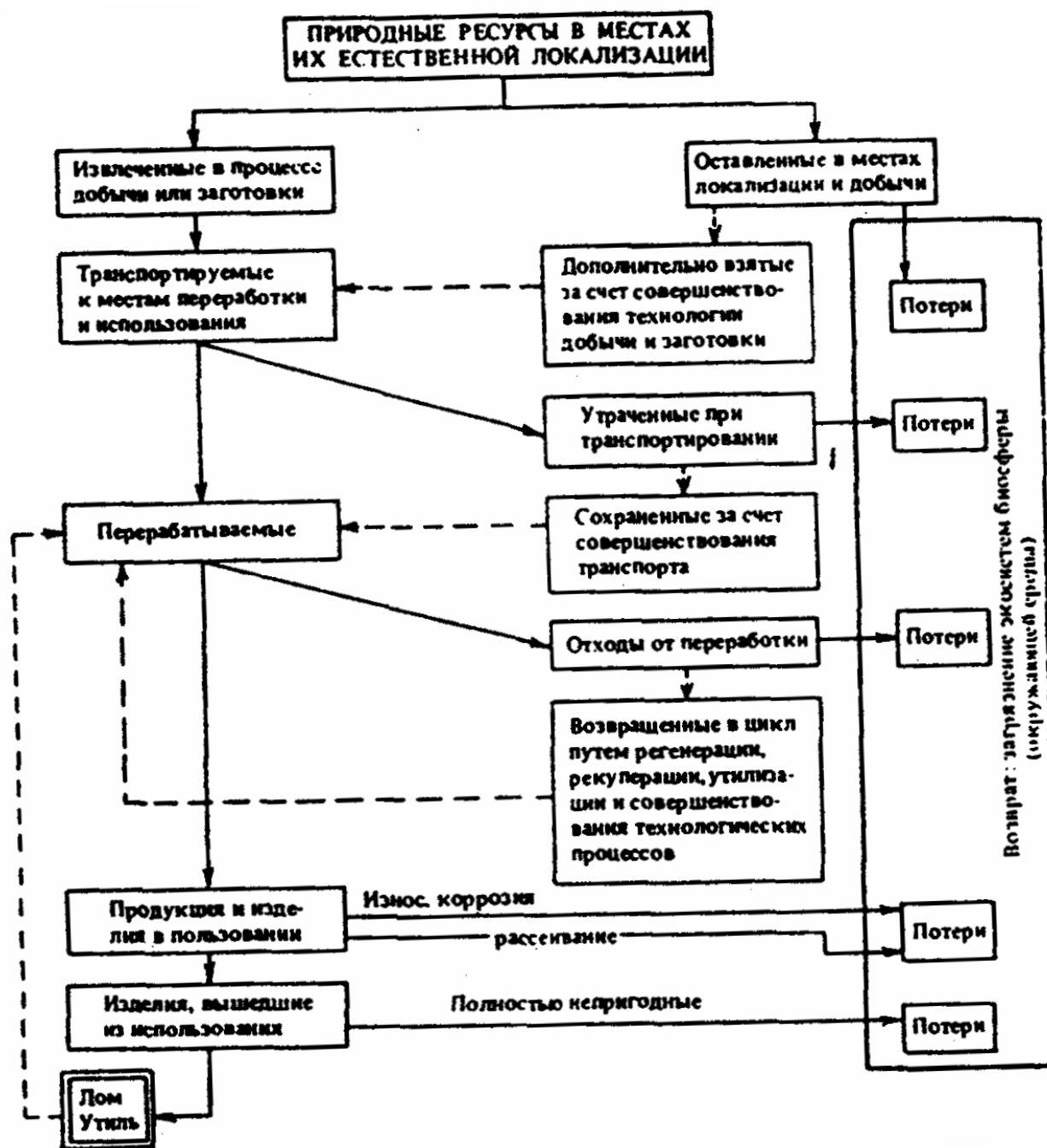


Рис. 13.7. Модель ресурсного цикла (по Г. В. Стадницкому, Д. И. Родионову, 1996)

Ресурсный цикл — это совокупность превращений и пространственных перемещений определенного вещества или группы веществ на всех этапах использования его человеком, включая его влияние, подготовку к эксплуатации, извлечение из природной среды, переработку, превращение и возвращение в природу.

Ресурсные циклы близки к естественным, представляя собой две дуги единого естественно-ресурсного цикла, протекающего в различных средах: природной и социально-экономической (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Ресурсные циклы

Ресурсные циклы на основе использования возобновимых природных богатств	Ресурсные циклы на основе использования полезных ископаемых
1. Цикл почвенно-климатических ресурсов и сельскохозяйственного сырья 2. Цикл лесных ресурсов и лесоматериалов 3. Цикл ресурсов фауны и флоры	1. Цикл энергоресурсов и энергии с гидроэнергетическим и энергохимическим подциклами 2. Цикл металлорудных ресурсов и металлов с коксохимическим подциклом 3. Цикл неметаллического ископаемого сырья с подциклами горно-химических и минеральных

В.А. Черников и др. (2000) считают, что с ростом производительных сил использование природно-ресурсного потенциала неуклонно расширяется, происходит формирование и развитие техногенеза. *Техногенез* — процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека, проявляется в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов, которые связаны с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрации и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений-

По Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) общая масса вещества., которое человек перемещает на поверхности планеты в конце XX столетия достигла 4 трлн т в год. Из 120 млрд т (G_T) ископаемый материалов и биомассы, которые мобилизуются мировой экономикой за год, лишь 9 G_T (7,5%) преобразуются в материальную продукцию в процессе производства. Большая часть — около 80% — потребляется и входит в основные и оборотные материальны® фонды и резервы всех отраслей мирового хозяйства, т. е. возвращается в основном в производство. Личное потребление людей составляет только 1,5 G_T , при этом более половины этой массы относится к нетто-потреблению продуктов питания. Только небольшая часть последних минует производственный цикл и не требует дополнительных затрат энергии на приготовление пищи.

В конце XX в. ежедневно требуется всем людям Земли около 2 млн т пищи, 10 млн м³ питьевой воды, 2 млрд м³ кислорода для дыхания.

В общем объеме потребляемых человечеством природных ресурсов более 70% приходится на *ресурсы недр*. Из них производится 94% энергоносителей (моторное топливо, топливо для тепловых и атомных электростанций), свыше 90% продукции тяжелой индустрии (прокат труб, конструкционных материалов), около 75% строительных материалов, 60% удобрений и 50% товаров народного потребления непищевого значения.

Минеральные ресурсы также занимают важное место в пищевом потреблении, на их основе изготавливают лекарственные препараты. Подземные артезианские воды, значительная часть которых минерализована, широко используются как в бальнеологических целях, так и для питьевого водоснабжения. Минеральные грязи, термальные водные источники являются

прекрасным средством для лечения различных заболеваний.

В современном мировом хозяйстве применяется свыше 250 разновидностей полезных ископаемых. Строительные камни, руды черных и цветных металлов, камни-самоцветы, золото, серебро, нефть, уголь используются с древнейших времен. Ежегодно в хозяйственный оборот вовлекаются новые месторождения традиционных полезных ископаемых, а также их новые разновидности, полезные свойства которых можно использовать с помощью современных технических средств технологий.

Анализ накопленной добычи полезных ископаемых за истекший период XX в. показывает общую тенденцию прогрессирующего роста! объемов добычи. Если в первой половине XX в. объемы мировой добычи полезных ископаемых удваивались через 50 лет, а затем через 40 лет, то начиная с 50-х гг. отмечается быстрое наращивание темпов и, объемов добычи: срок удвоения сократился до 14—18 лет. В 90-х гг. XX в. в мировом хозяйстве добывается ежегодно около 50 млрд т полезных ископаемых. В России в этот период добывалось около 17% нефти, 25% газа, 15% каменного угля, 14% товарной железной руды от всего объема добычи этих ископаемых. По прогнозам, к 2000 г. этот показатель возрастет в 2—3 раза, т.е. из недр предполагается извлекать ежегодно 100—150 млрд т минеральных ресурсов. В последние 20 лет XX в. будет извлечено из недр 34% суммарной за век добычи угля, около половины всей нефти, более половины естественного газа и более 60% урана.

«Зеленая революция», интенсификация сельскохозяйственного производства стимулирует быстрый рост добычи агрохимических руд. На рубеже века предстоит обеспечить выемку из недр 69% калийных солей и 55% фосфатных руд.

Однако нужно помнить, что богатства недр — полезные ископаемые — относятся к исчерпаемым и невозобновляемым природным ресурсам и их запасы ограничены (табл. 13.2, рис. 13.8).

Таблица 13.2

Мировые запасы топливно-энергетических ресурсов

Вид топлива	Геологические ресурсы	Разведанные извлекаемые ресурсы
Уголь, млрд т	4880—5560	609
Нефть, млрд т	207—252	72—98
Природный газ, трлн м ³	260—270	49—74
Газовый конденсат, млрд т	33—34	6—9
Искусственное жидкое топливо (из сланцев и битуминозных пород), млрд т	342	36
Уран, млн т*	3,2	1,6

*Запасы, которые могут быть извлечены с издержками до 66 долл. на 1 кг содержания оксида урана в урановом концентрате.

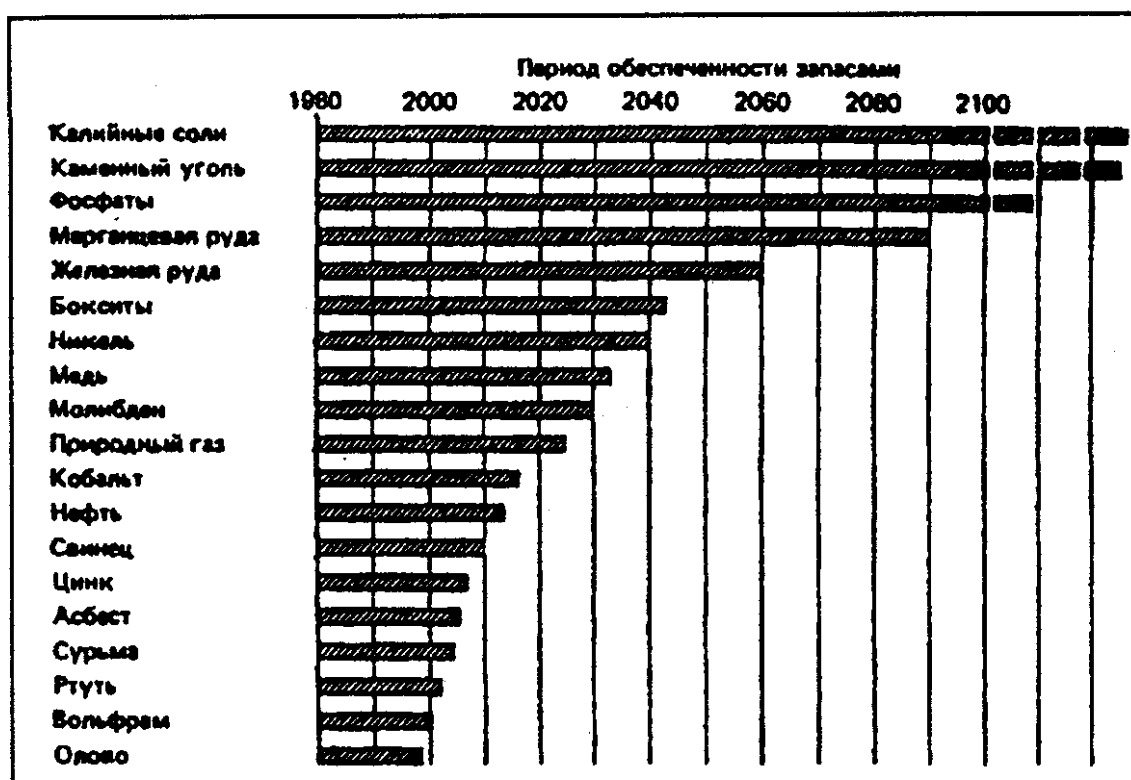


Рис. 13.8. Обеспеченность зарубежных стран мира

А. Е. Ферсман еще в 30-х гг. XX в., имея в виду идею ресурсных циклов, под комплексным использованием сырья подразумевал такую организацию производства, при которой не пропадал бы ни грамм добываемой горной массы, не было бы отходов. Пока же формирующиеся разведанными запасами полезных ископаемых еся циклы представляют собой главным образом стадии последовательной переработки сырья. Такие циклы называют *простыми, линейными*. Например, связи по вертикали: лесозаготовка — вывозка леса — лесопиление — деревообработка. Данные циклы уже обеспечивают существенный эффект по сравнению с одиночно расположенными (точечными) предприятиями, и в то же время этот результат будет несоизмеримо выше при развитии не только вертикальных, но и горизонтальных связей. Эти связи могут развиваться на каждой стадии цикла, где образуются отходы. На базе этих отходов формируются производства (лесохимия, производство древесно-стружечных плит и др.). Такой цикл называется *сложным*. При кооперировании и комбинировании сокращаются экономические издержки производства, а главное достигается комплексность использования сырья. Динамика их развития может быть представлена следующим образом (рис. 13.9):

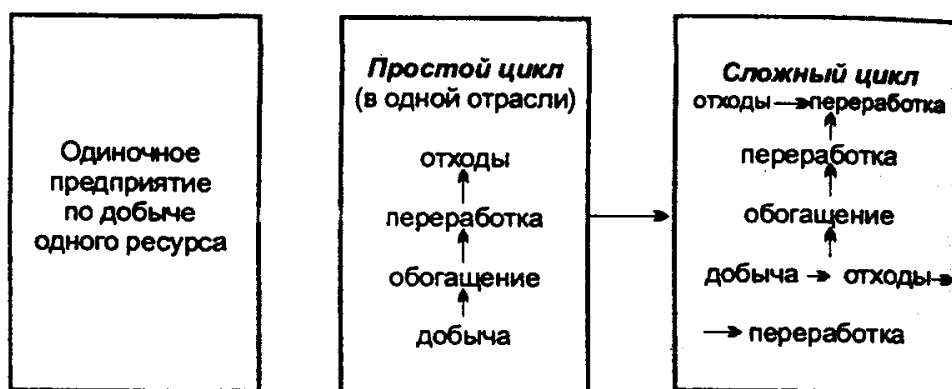


Рис. 13.9. Развитие ресурсного цикла

Таким образом, ресурсные циклы будут постепенно преобразовываться (трансформироваться) на основе тех же принципов, что и естественные циклы — взаимосвязи и замкнутости. Данная организация ресурсных циклов получила название безотходных производств, понимаемых как совокупность технологических процессов, из которых отходы одних используются в качестве сырья для других, что обеспечивает их полную утилизацию. Реальным же, на наш взгляд, является переход к малоотходным производствам, характеризующимся максимально возможной утилизацией выбросов.

13.4. Антропогенные воздействия на потоки энергии и круговороты веществ

Всеми отраслями человеческого хозяйства ежедневно добывается почти 300 млн. тонн веществ и материалов, сжигается около 30 млн т топлива, используется 2 млрд м³ воды и 65 млрд м³ кислорода. Все это сопровождается расходом природных ресурсов и массированным загрязнением среды. Так, на рис. 13.10 показан поток энергии и круговорот вещества в современном промышленно развитом обществе.

Сравнение антропогенных материальных потоков с параметрами биосферного круговорота показывает, что человеческая деятельность определяет существенную долю биогеохимической динамики вещества на планете. Общее потребление пресной воды человечеством достигло 2% объема влаги, вводимой в биосферный круговорот транспирацией всех растений суши. Антропогенный обмен газов в атмосфере составляет 15—18% всего биотического газообмена. Уровень использования продукции биомассы достиг 10%. Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994) приводят данные о том, что человечество в результате своей жизнедеятельности возвращает в атмосферу 1,5 Г выдыхаемых углекислого газа и паров. При этом выделяется 18 ЭДж теплоты. На поверхность земли и в водоемы переходит 3,9 Г жидких и 0,7 Г твердых отходов (экскрементов людей и бытового мусора). Разница между приходом и расходом, близкая к 100 млн т в год, указывает на рост численности, массы человечества и массы предметов и материалов индивидуального потребления.

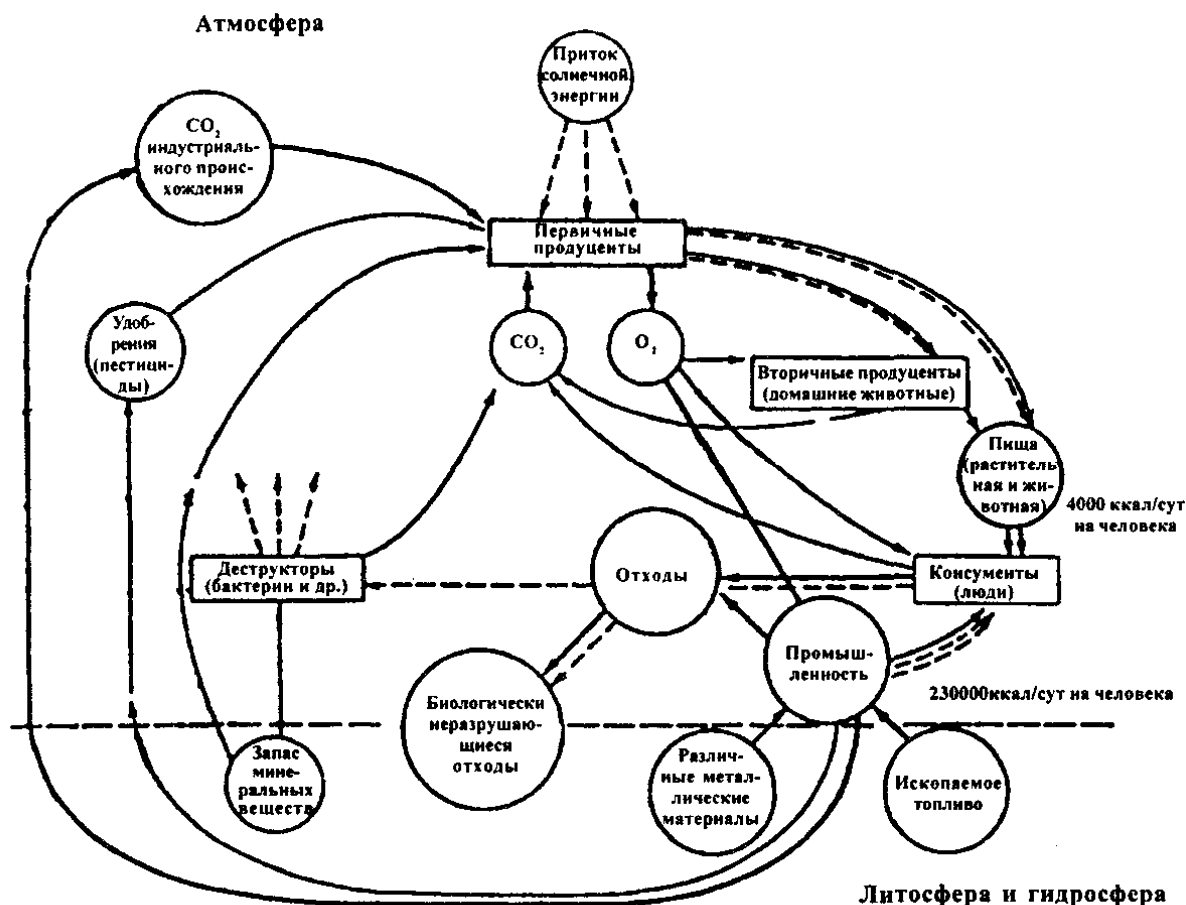


Рис. 13.10. Поток энергии и круговорот вещества в современном промышленно развитом обществе (по Ф. Рамаду, 1981)

Значительные ресурсы и экологические проблемы связаны с технической энергетикой и промышленным производством, включая и пром-технологии в сельском хозяйстве. Так, сжигание 10 Г ископаемого топлива, как и биологическое окисление более 5 Г растительной биомассы при скормливании сельскохозяйственным животным, связано с потреблением 34—35 Г кислорода и возвращением в атмосферу 39—40 Г[^] углекислого газа, 9—10 Г влаги (не включая техногенного испарения свободной воды). Кроме того, в воздух попадают продукты неполного сгорания, различные пыледымовые аэрозоли, окислы, соли, значительная масса разнообразных летучих веществ, которые выделяются в процессе производства, работе автотранспорта. Общая масса этих примесей составляет 2 Г в год. В среду при этом выделяется до 400 ЭДж теплоты, создающей угрозу теплового загрязнения планеты.

Более 100 Г твердых и жидких отходов образуется за год добывающей и перерабатывающей промышленностью. Около 15% попадает со стоками в водоемы, остальное добавляется к отвалам, так называемой «пустой породе», свалкам, хранилищам и захоронениям промышленных отходов.

Таким образом, критическую ситуацию в конце XX в. образуют следующие негативные тенденции.

1. Потребление ресурсов Земли настолько превысило темпы их

естественного воспроизводства, что истощение природных богатств стало оказывать заметное влияние на их использование, на национальную и мировую экономику, привело к необратимому обеднению литосферы и биосферы.

2. Отходы, побочные продукты производства и быта загрязняют биосферу, вызывают деформации экологических систем, нарушают *глобальный круговорот веществ* и создают угрозу для здоровья человечества (рис. 13.11).



Рис. 13.11. Пути нарушения деятельностью человека устойчивого уровня эксплуатации ресурсов естественной биоты (по Б. Небелу, 1993)

Главной причиной противоречий оказывается именно *количественная экспансия человеческого общества* — высший уровень и быстрое нарастание совокупной антропогенной нагрузки на природу, усиление его разрушающего воздействия. Все это имеет очень серьезные не только экологические, но и социально-биологические и экономические последствия (рис. 13.12).

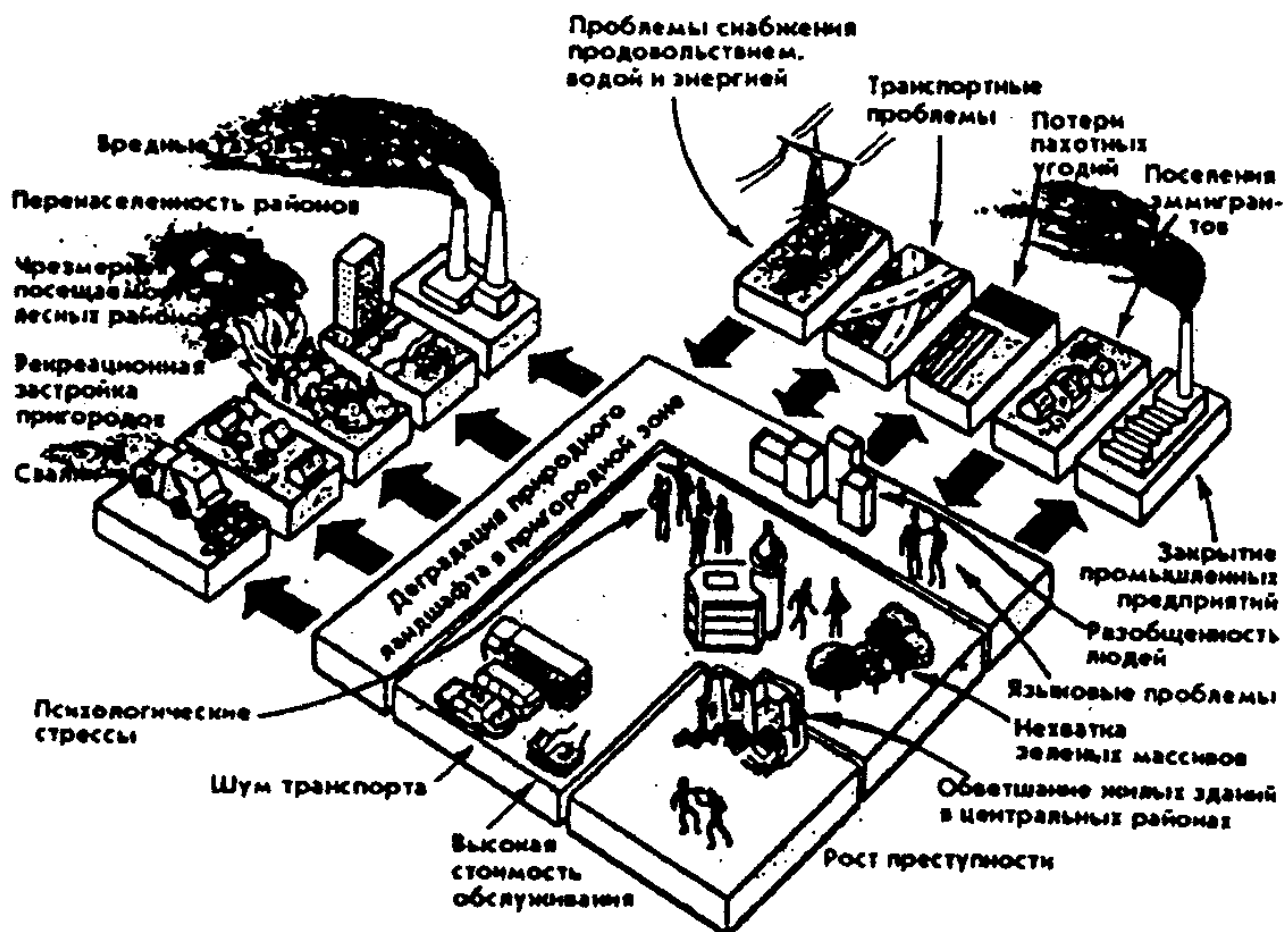


Рис. 13.12. Модель возможных негативных экологических и социальных последствий урбанизации

Существенным отличием антропогенного массообмена от *биотического круговорота веществ в природе* является то, что первый не образует или почти не образует замкнутых циклов. Он существенно разомкнут как в качественном, так и количественном отношении. Может быть реально возобновлена только часть изъятых человеком из природы биологических ресурсов. Может быть утилизирована биотой или нейтрализована в результате биогеохимической миграции веществ только часть отходов производства. Темпы возобновления, утилизации и нейтрализации в современную эпоху отстают от темпов изъятия ресурсов и загрязнения среды. Наиболее характерно это для крупных промышленных городов (рис. 13.13 и 13.14).

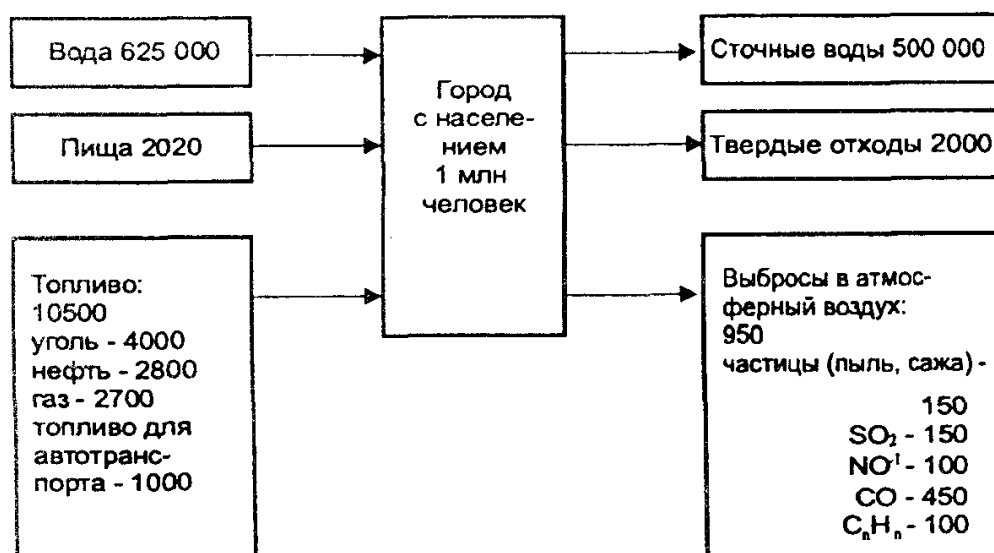


Рис. 13.13. Массообмен современного промышленного города (т/сутки)

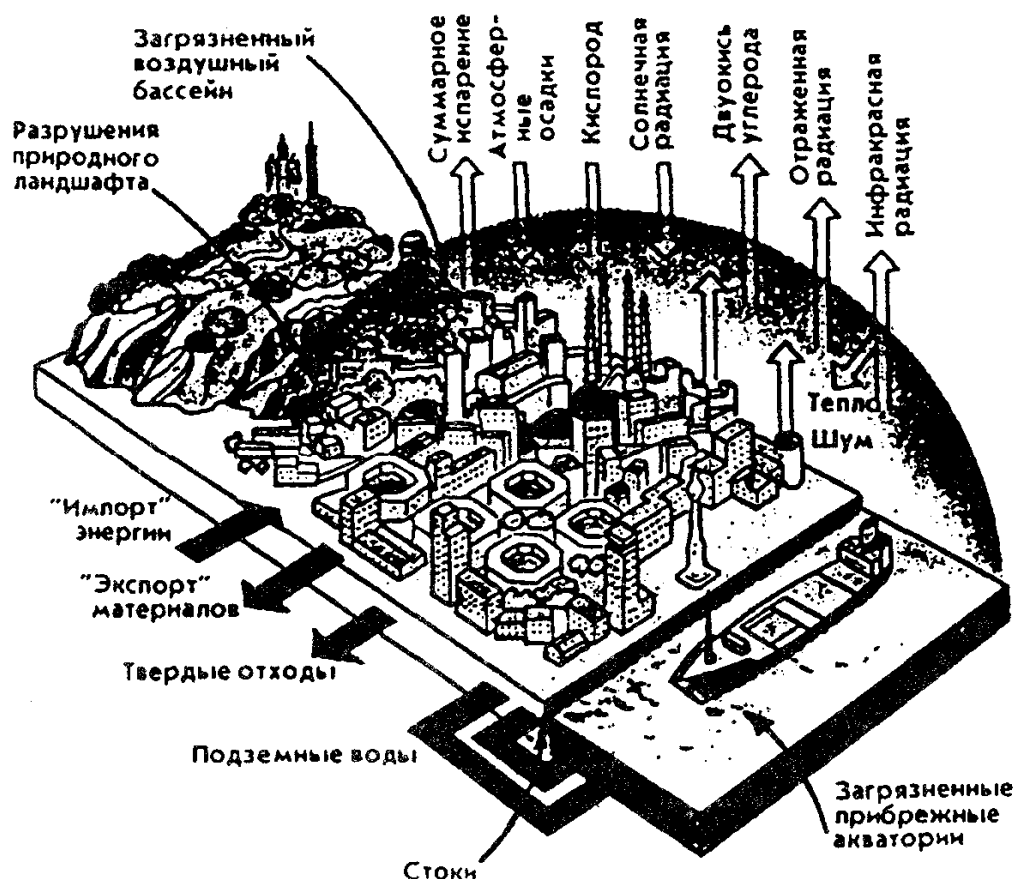


Рис. 13.14. Взаимодействие города и природной среды

В пределах крупных городов изменены все элементы окружающей среды. В связи с тем, что антропогенный обмен составляет существенную часть биосферного круговорота веществ, то своей разомкнутостью он нарушает необходимую высокую степень замкнутости глобального биотического

круговорота, выработанную в длительной эволюции и являющуюся важнейшим условием стационарного состояния биосферы. Антропогенные воздействия оказывают влияние и на *круговороты воды, кислорода, углерода, азота, фосфора, серы*.

В одних случаях влияние хозяйственной деятельности человека на *круговорот воды*, или природный гидрологический цикл, может быть целенаправленным, в других — случайным, непредусмотренным (рис. 13.15).

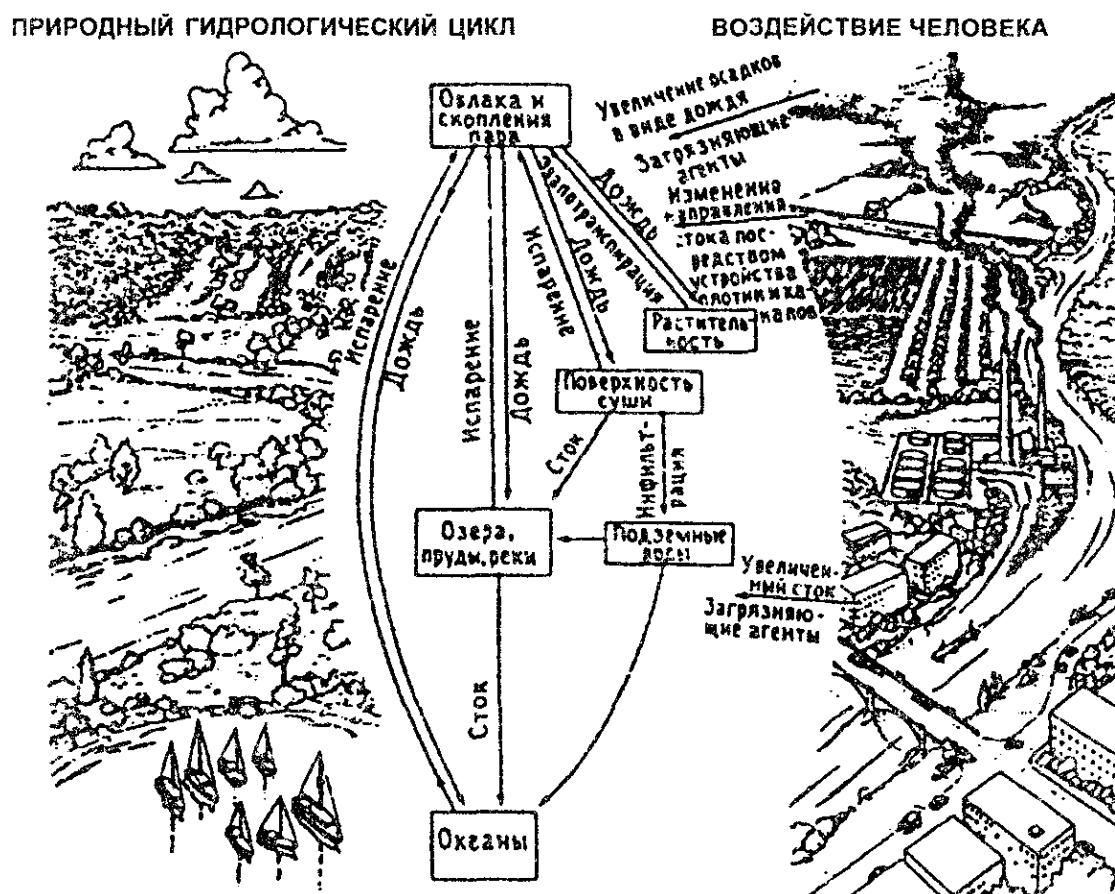


Рис. 13.15. Антропогенное воздействие на круговорот воды (природный гидрологический цикл), по П. Ревеллю, Ч. Ревеллю, 1994

Так, количество осадков в промышленных регионах, как правило, увеличивается. Причиной этого служит обилие мельчайших частиц минеральных веществ, ускоряющих конденсацию водяных паров. Другой пример — усиление стока воды в результате уничтожения растительного покрова. Как известно, растительный покров (деревья, травы и др.) улавливают и удерживают воду, просачивающуюся в почву. Уничтожение растительности усиливает сток воды и может привести к наводнению. Нередко человек искусственно препятствует стоку речных и озерных вод, например в океаны. В таких случаях происходит загрязнение воды химическими и биологическими отходами.

Жизнедеятельность живых организмов, как известно, поддерживается

современным соотношением в атмосфере кислорода и углекислого газа. Естественные процессы потребления кислорода и углекислого газа и их поступление в атмосферу сбалансированы. Антропогенное воздействие оказывает заметное влияние на *круговорот кислорода* в биосфере. С развитием промышленности и транспорта кислород используется на процессы горения. Например, на сжигание разных видов топлива требуется от 10 до 25% кислорода, производимого зелеными растениями. Уменьшается поступление кислорода в атмосферу из-за сокращения площадей лесов, степей и увеличения пустынь. Сокращается число продуцентов кислорода и в водных экосистемах. Главная причина — загрязнение океанов и морей, рек и озер. Ученые считают, что в ближайшие 150—180 лет количество кислорода в атмосфере может сократиться на 1/3 по сравнению с его содержанием в конце XX в. Особую тревогу в последние годы вызывает часто наблюдаемое разрушение озонового слоя.

Деятельность человека нарушает естественный баланс *круговорота углерода* (рис. 13.16).

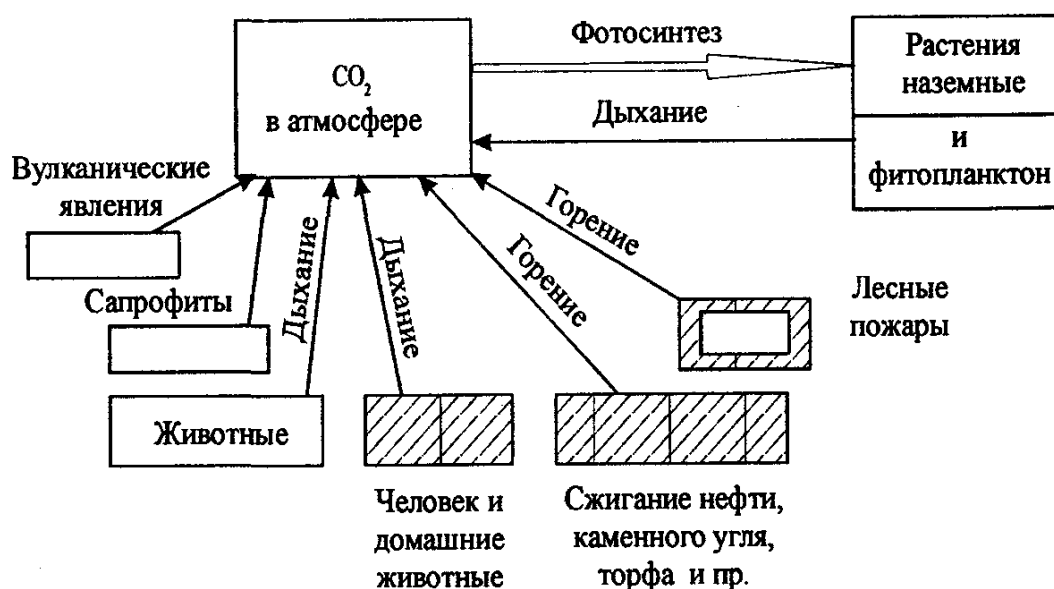


Рис. 13.16. Антропогенное воздействие на круговорот углерода

Глобальное равновесие (углекислый газ — живое вещество — отмершая органика) сильно сдвинуто практически во всех звеньях. *Во-первых*, при сгорании топлива при существующем уровне его потребления ежегодно в атмосферу дополнительно поступает $5 - 6 \cdot 10^9$ т С. *Во-вторых*, выжигание тропических лесов для расширения пашни, необходимого в связи с ежегодным приростом населения в тропических и субтропических странах на 2,4%, приводит к высвобождению в виде углекислого газа около $5 \cdot 10^8$ т С ежегодно. *В-третьих*, примерно такое же количество органического С фитомассы тропических лесов переходит в атмосферу вследствие лесозаготовок, при которых вывозится в виде древесины только часть фитомассы, а отходы (ветви, хвоя и т. д.) и поврежденные деревья гнивают и минерализуются. *В-*

четвертых, из почвы пашен, в первую очередь тропиков, в атмосферу ежегодно переходит еще $3 - 10 \cdot 10^8$ С, первоначально содержащегося в органическом веществе почвы. Общее количество органического С, потерянного всеми наземными экосистемами, включая и нетропические, за исторический период составляет около $7 - 10 \cdot 10^{11}$ т. Таким образом, целый ряд антропоген-ных процессов существенно сдвигает биосферный баланс углерода в сторону увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере. Хотя часть CO_2 выделившуюся при сгорании топлива, поглощают океаны, большая же ее часть остается в атмосфере. Результаты анализов убедительно свидетельствуют о неуклонном возрастании CO_2 в атмосфере, начиная с 50-х гг. XX в. Представляется наиболее вероятным повышение уровня двуокиси углерода в атмосфере к 2000 г. на 25%. Такое увеличение способно вызвать повышение глобальной температуры на 1°C , «парниковый эффект». Это крайне опасно. В силу «парникового эффекта» и возможности изменения климата произойдет таяние полярных льдов, повышение уровня Мирового океана, затопление прибрежных территорий, ликвидация важных местообитаний для многих видов, включая человека.

Дж. Митчелл (1979) считает, что в конце XX в. ожидаемое повышение температуры поверхности Земли проявится достаточно отчетливо. Он также полагает, что ко времени, когда возмущение климата от повышенного содержания CO_2 проявит себя в полной мере, и которое, возможно, наступит через тысячелетия или позже, температура земной атмосферы в глобальном масштабе может превзойти самые высокие уровни, имеющие место за прошедшие миллионы лет истории Земли.

Человек вмешивается и в *естественный круговорот азота* (рис. 13.17).

удобрения — 7,5 млн т.

В связи с тем, что на Земле запасы фосфора — важного элемента для функционирования экосистем — малы (содержание не превышает 1 % в земной коре), любое воздействие человека на *биогеохимический круговорот фосфора* имеет ряд отрицательных последствий (рис. 13.18).

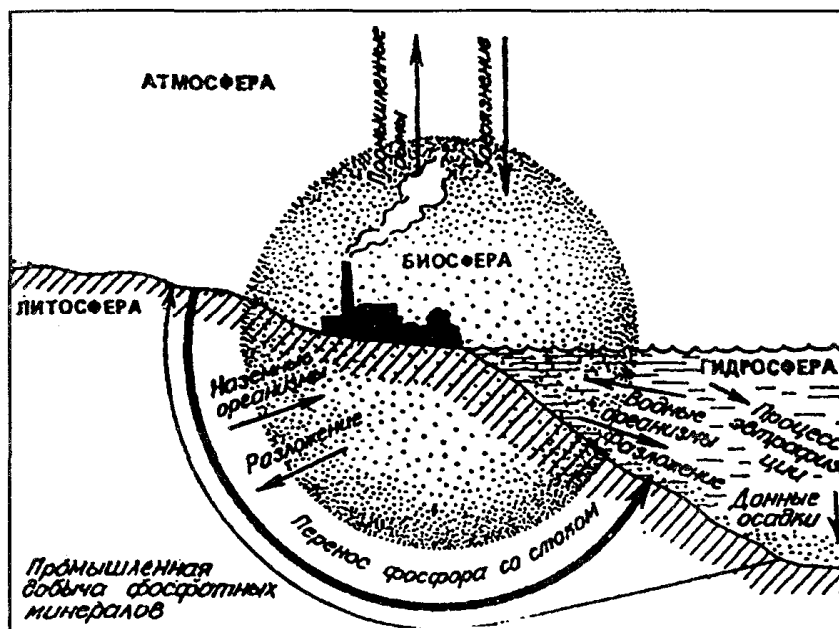


Рис. 13.18. Изменение круговорота фосфора в результате хозяйственной деятельности человека

Потери фосфора делают его круговорот менее замкнутым. Эти нарушения связаны со следующими антропогенными факторами.

1. Извлечение фосфора из руд и шлаков, производство и применение удобрений для сельского хозяйства.
2. Производство препаратов, содержащих фосфор и используемых в промышленности и быту.
3. Производство большого количества фосфорсодержащих продуктов и кормов, вывоз и потребление их в зонах концентрации населения.
4. Добыча морепродуктов и потребление их на суше, которое включает за собой перераспределение биогенных фосфатов из океана на сушу.

Замена природных биоценозов агроценозами сопровождается утратой значительных запасов фосфора, так как его содержание в фито-массе лесов и луговых степей достигает нередко десятков килограммов на гектар, а в лесных подстилках — еще больше. Потери фосфора при водной эрозии почв также весьма значительны. Эродируемые почвы теряют фосфора до 9-22 кг с гектара в год.

В 90-х гг. XX в. мировое производство фосфорных удобрений и других соединений фосфора составляло около 35 млн т в год в пересчете на P_2O_5 , а к 2000 г. ожидается удвоение этой цифры. Основное количество этих фосфатов извлекается из горных пород, остальная часть — из гуано. Дальнейшее использование этого фосфора таково: из 10 частей фосфора, израсходованного на корм скоту, человеку с продуктами питания попадает одна часть, три части поглощаются почвой и остаются там, а шесть частей, или 60%, поступают в

эксекреты и, если не используются в качестве удобрений, что нередко и происходит на практике, то смываются в водоемы и вызывают их эвтрофикацию. Попавший в реки фосфор только частично поступает в океан. Часть его удерживается в водохранилищах, опять же стимулируя их эвтрофикацию. Таким образом, наблюдается перекачка фосфора из горных пород (апатиты, фосфориты) в клетки сине-зеленых водорослей, накапливающихся в эвтрофизированных водоемах. Миграция фосфора по этим цепям, вероятно, не меньше, чем естественный процесс его поступления с речными стоками в воды Мирового океана, который составляет около 2 млн т или несколько больше.

П. Дювиньо (1967) подчеркивал, что *«положение однажды окажется весьма угрожающим, и можно согласиться с Уэлсом, Хаксли и Уилсом (1939) в том, что фосфор наиболее слабое звено в жизненной цепи, которая обеспечивает существование человека»*.

Общее количество серы, вовлеченное в ее биогеохимический цикл, оценивается следующими цифрами (в год): из океана в атмосферу поступает 82 млн т, а осаждается 96 млн т. С суши в атмосферу поступает 130 млн тонн и возвращается 116 млн т. Антропогенные источники дают 46% поступления серы с суши в атмосферу, и практически все ее соединения, поступившие туда техногенным путем в виде окислов и других соединений, возвращаются на поверхность земли и оказывают губительное действие на экосистемы. Один из основных антропогенных источников соединений серы, поступающих в биосферу, — это сера извлеченных из недр нефти и угля или сера, накопленная живым веществом былых биосфер на протяжении огромного времени, возвращаемая в современную биосферу «залпом». По прогнозам, глобальные выбросы техногенных окислов серы по сравнению с началом 70-х гг. XX в. к 2000г. могут увеличиться в 2—3,5 раза. Такое перенасыщение будет способствовать *значительному изменению естественного круговорота серы в природе*.

Большая часть двуокиси серы в течение нескольких дней после выброса в атмосферу превращается в сульфаты и серную кислоту. За это время ветры могут отнести эти загрязнения на сотни километров от места их выброса, вызвать кислотные дожди и, как результат, разрушение материалов, повреждение растений, заболеваемость и даже смерть животных. Считают, что высокое содержание окислов серы в воздухе непосредственно влияет на увеличение заболеваемости людей и даже на рост смертности.

13.5. Классификация антропогенных воздействий

На интенсивность использования природных ресурсов и тесно связанное с нею состояние окружающей среды в современную эпоху объективно влияют две группы факторов: *первая* — научно-техническая революция (НТР) и ее проявление в производственной деятельности человеческого общества, *вторая* — демографические факторы (рост численности населения, урбанизация). Обе

группы факторов взаимообусловлены. С одной стороны, достижение НТР в ходе производственной деятельности реализуются людьми, одновременно выступающими и творцами научно-технического прогресса (НТП). С другой стороны, достижения НТР объективно влияют на увеличение численности народонаселения благодаря росту производства продуктов питания и снижения смертности.

Принципиальная схема взаимодействия основных факторов в системе «общество — окружающая среда» по В.Ф. Протасову, А.В. Молчанову (1995) состоит из двух подсистем (рис. 13.19).

В социально-экономической подсистеме анализируется влияние *научно-технической революции* на развитие и территориальное размещение производительных сил с учетом демографических факторов, в том числе и урбанизации.

В *природно-ресурсной подсистеме* определяется влияние развития производительных сил на количественное и тесно связанное с ним качественное истощение природных ресурсов различных видов. Количественное истощение природных ресурсов связано с уменьшением их общих запасов из-за высоких темпов расходования, а качественное истощение — с поступлением в окружающую среду (атмосфера, вода, почвенный и растительный покровы) веществ — загрязнителей биосферы. Для минерально-сырьевых ресурсов качественное истощение связывается со снижением их промышленных кондиций.

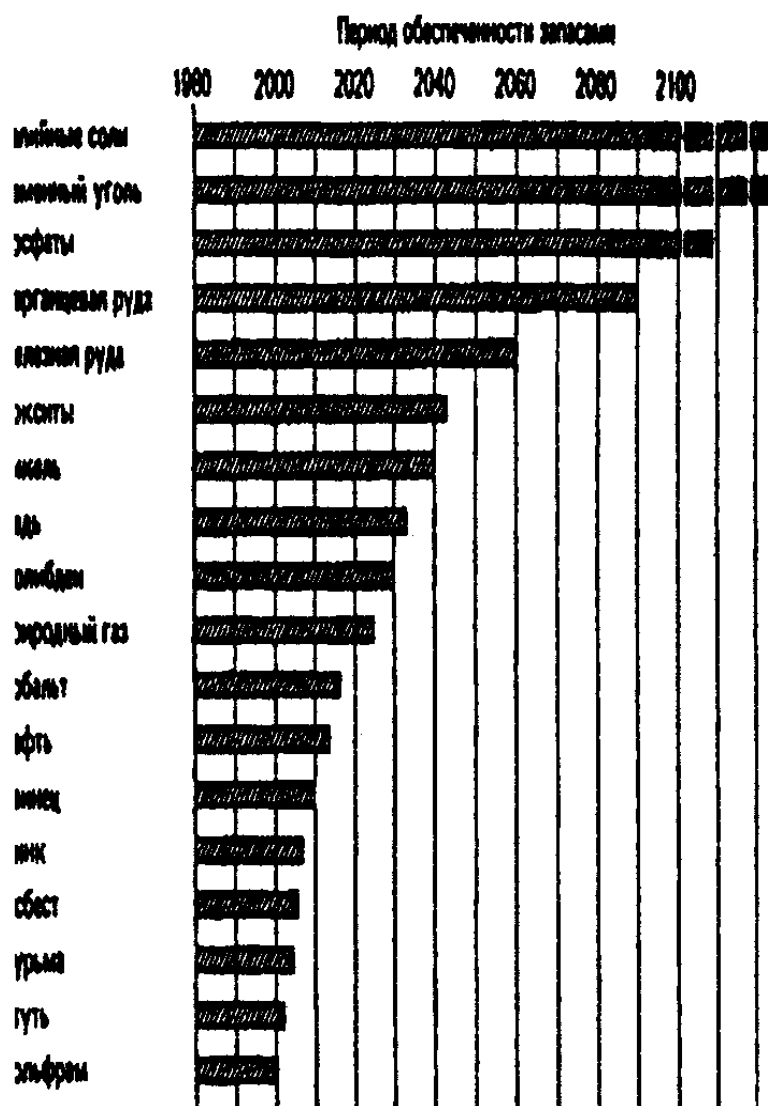


Рис. 13.19. Взаимодействие основных факторов в системе «общество — окружающая среда» (по В. Ф. Протасову, Д. В. Молчанову, 1995)

Антропогенные воздействия на экосферу и среду обитания людей Т. А. Акимовой, В. В. Хаскиным (1994) подразделены по следующим категориям.

1. *Общий характер процессов* антропогенного воздействия, предопределяемый формами человеческой деятельности: 1) изменение ландшафтов и целостности природных комплексов; 2) изъятие природных ресурсов; 3) загрязнение окружающей среды.

2. *Материально-энергетическая природа* воздействий: механические, физические (тепловые, электромагнитные, радиационные, радиоактивные, акустические), физико-химические, химические, биологические, факторы и агенты, их различные сочетания.

3. *Категории объектов воздействия*: природные ландшафтные комплексы, поверхность земли, почва, недра, растительность, животный мир, водные объекты атмосферы, микросреда и микроклимат обитания, люди и другие реципиенты.

4. *Количественные характеристики воздействия*: пространственные масштабы (глобальные, региональные, локальные), единичность и множественность, сила воздействий и степень их опасности (интенсивность факторов и эффектов, характеристики типа «доза— эффект», пороговость, допустимость по нормативным экологическим и санитарно-гигиеническим критериям, степень риска и т. п.).

5. *Временные параметры и различия воздействий по характеру наступающих изменений*: кратковременные и длительные, стойкие и нестойкие, прямые и опосредованные, обладающие выраженными или скрытыми следовыми эффектами, вызывающие цепные реакции, обратимые и необратимые и т. д.

С последними категориями классификации связано еще деление всех антропогенных изменений на преднамеренные и непреднамеренные, попутные, побочные.

Преднамеренные преобразования: освоение земель под посевы или многолетние насаждения, сооружение водохранилищ, каналов и оросительных систем, строительство городов, промышленных предприятий и путей сообщения, рытье котлованов, разрезов, шахт и бурение скважин для добычи полезных ископаемых, осушение болот и т. д. *К непреднамеренным изменениям* относят: загрязнение окружающей среды, изменения газового состава атмосферы, изменения климата, кислотные дожди, ускорение коррозии металлов, образование фотохимических туманов (смогов), нарушение озонового слоя, развитие эрозионных процессов, наступление пустыни, экологические катастрофы в результате крупных аварий, обеднение видового состава биоценозов, развитие экологической патологии у населения и т. п. На первый план выступают непреднамеренные экологические изменения не только по той причине, что многие из них очень значительны и важны, а также и потому, что они хуже контролируются и чреваты непредвиденными эффектами.

13.6. Экологические кризисы и экологические катастрофы

Нерациональное природопользование является причиной экологических кризисов и экологических катастроф. *Экологический кризис* — это обратимое изменение равновесного состояния природных комплексов. Он характеризуется не столько усилением воздействия человека на природу, сколько резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие. Проявление экологического кризиса нередко называют «эффектом бумеранга». Известен ряд экологических кризисов: относительного обеднения доступных примитивному человеку ресурсов промысла и собирательства, обусловивший стихийные биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для ее лучшего и более раннего роста (с наступлением весны, влажного периода года); перепромысла крупных позвоночных животных (50—10 тыс. лет назад); современный кризис глобального загрязнения, которому, по мнению ученых, соответствует высший этап научно-технической революции. Человек выступает

при экологическом кризисе активно действующей стороной. История цивилизации доказывает, что вслед за экологическим кризисом следует революционное изменение во взаимоотношениях общества и природы.

В предистории и истории человечества выделяют ряд экологических кризисов и революций (рис. 13.20).



Рис. 13.20. Экологические кризисы и революции (масштаб условный), по Н. Ф. Реймерсу, 1990

1. Изменение среды обитания живых существ, вызвавшее возникновение прямоходящих антропоидов — непосредственных предков человека.

2. Кризис относительного обеднения доступных примитивному человеку ресурсов промысла и собирательства, обусловившего стихийные биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для лучшего и более раннего роста.

3. Первый антропогенный экологический кризис — массовое уничтожение (перепромысел) крупных животных («кризис консументов»), связанный с последовавшей за ним сельскохозяйственной экологической революцией (рис. 13.21).

4. Экологический кризис засоления почв и деградация примитивного поливного земледелия, недостаточность его для растущего народонаселения Земли, что привело к преимущественному развитию неполивного земледелия.

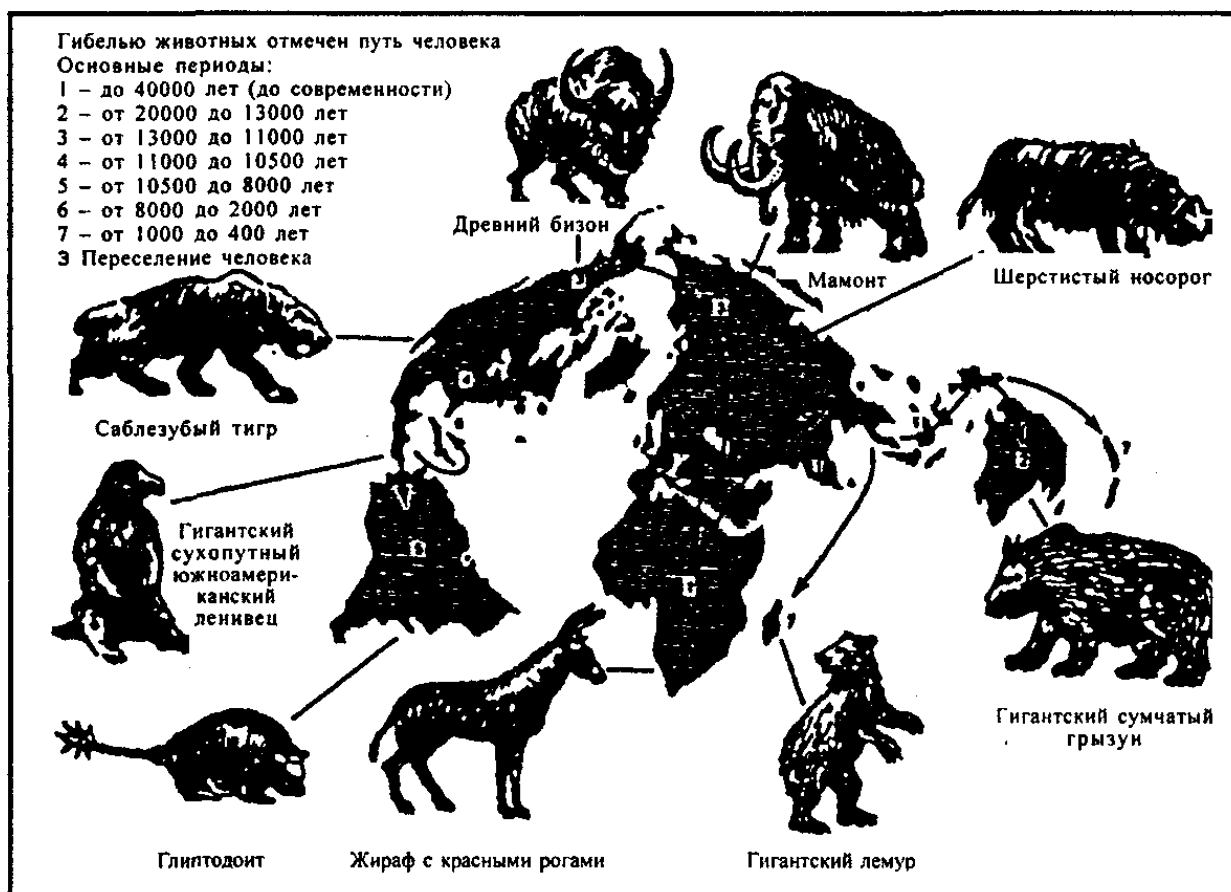


Рис. 13.21. Схема, иллюстрирующая совпадение по времени исчезновения некоторых крупнейших представителей животного мира плейстоцена и заселения мест их обитания охотниками палеолита, т.е. палеолитический перепромысел (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

5. Экологический кризис массового уничтожения и нехватки растительных ресурсов, или «*кризис продуцентов*», связанный с общим бурным развитием производительных сил общества, вызвавший широкое применение минеральных ресурсов, промышленную, а в дальнейшем и научно-техническую революцию.

6. Современный кризис угрозы недопустимого глобального загрязнения. Здесь редуценты не успевают очищать биосферу от антропогенных продуктов или потенциально не способны это сделать в силу неприродного характера выбрасываемых синтетических веществ. Этот кризис называют «*кризисом редуцентов*», которому соответствует высший этап научно-технической революции — реутилизация продуктов и условное замыкание технологических циклов.

С «кризисом редуцентов» почти одновременно наступают два других экологических напряжения: термодинамическое (тепловое) и снижение надежности экосистем. Они связаны с экологическими ограничениями производства энергии в нижней тропосфере и нарушением природного экологического равновесия. Данные экологические кризисы ближайшего будущего будут разрешены на основе энергетической и эколого-плановой

экологических революций. Первая будет заключаться в максимальной экономии энергии и переходе к ее источникам, практически не добавляющим тепло в приземный слой тропосферы (главным образом солнечным), вторая — в регулируемой *коэволюции* в системе «общество — природа».

Экологическая катастрофа — это *природная аномалия* (длительная засуха, массовый мор, например, скота и т. д.), зачастую возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности на природные процессы и ведущая к остронеприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона; *авария технического устройства* (атомной электростанции, танкера и т. п.), приведшая к остронеприятным изменениям в среде и повлекшей за собой массовую гибель живых организмов и экономический ущерб; одно из *состояний природы*. Экологическая катастрофа отличается от экологического кризиса тем, что кризис — это обратимое состояние, где человек выступает активно действующей стороной, а катастрофа — необратимое явление, человек здесь вынужденно пассивная, страдающая сторона. В более широком понимании экологические катастрофы — это фазы развития биосферы, где происходит качественное обновление живого вещества, например вымирание одних видов и возникновение других.

13.7. Понятие загрязнения окружающей среды. Виды загрязнителей

Под загрязнением окружающей среды понимают любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы.

Различают *природные загрязнения*, вызванные природными, нередко катастрофическими, причинами, например извержение вулкана, и *антропогенные*, возникающие в результате деятельности человека (рис. 13.22).

Антропогенные загрязнители делятся на *материальные* (пыль, газы, зола, шлаки и др.) и *физические*, или *энергетические* (тепловая энергия, электрические и электромагнитные поля, шум, вибрация и т. д.). Материальные загрязнители подразделяются на *механические*, *химические* и *биологические*. К *механическим* загрязнителям относятся пыль и аэрозоли атмосферного воздуха, твердые частицы в воде и почве. *Химическими* (ингредиентами) загрязнителями являются различные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу, гидросферу и вступающие во взаимодействие с окружающей средой — кислоты, щелочи, диоксид серы, эмульсии и другие.

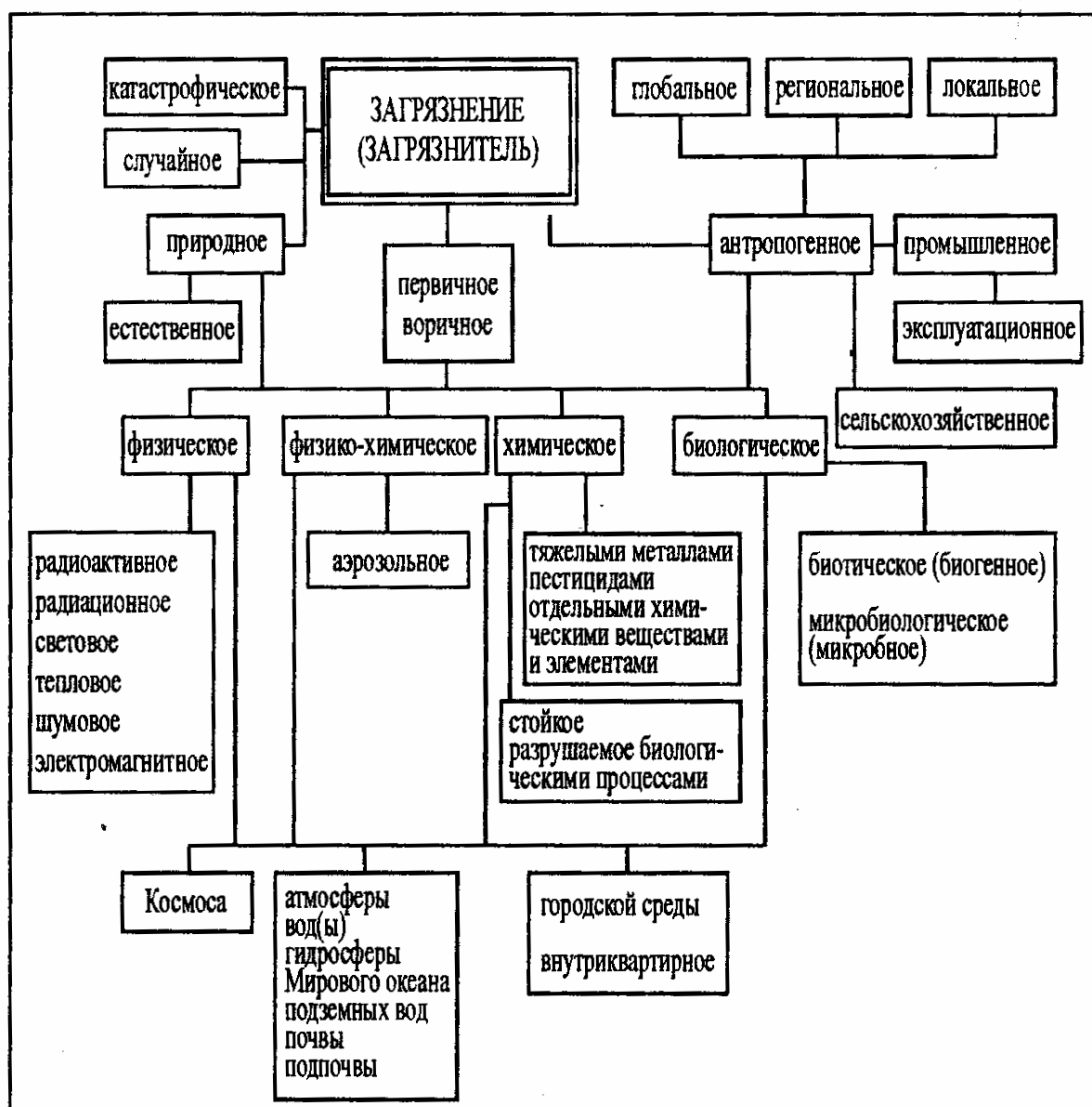


Рис. 13.22. Схема форм загрязнителей (загрязнения),
по Н. Ф. Реймерсу, 1990

Биологические загрязнители — все виды организмов, появляющиеся при участии человека и наносящие ему вред — грибы, бактерии, сине-зеленые водоросли и т. д.

Последствия загрязнения окружающей среды представлены на рис. 13.23 и кратко сформулированы следующим образом.

1. Ухудшение качества окружающей среды.
2. Образование нежелательных потерь вещества, энергии, труда и средств при добыче и заготовке человеком сырья и материалов, которые превращаются в безвозвратные отходы, рассеиваемые в биосфере.
3. Необратимое разрушение не только отдельных экологических систем, но и биосферы в целом, в том числе воздействие на глобальные физико-химические параметры окружающей среды.

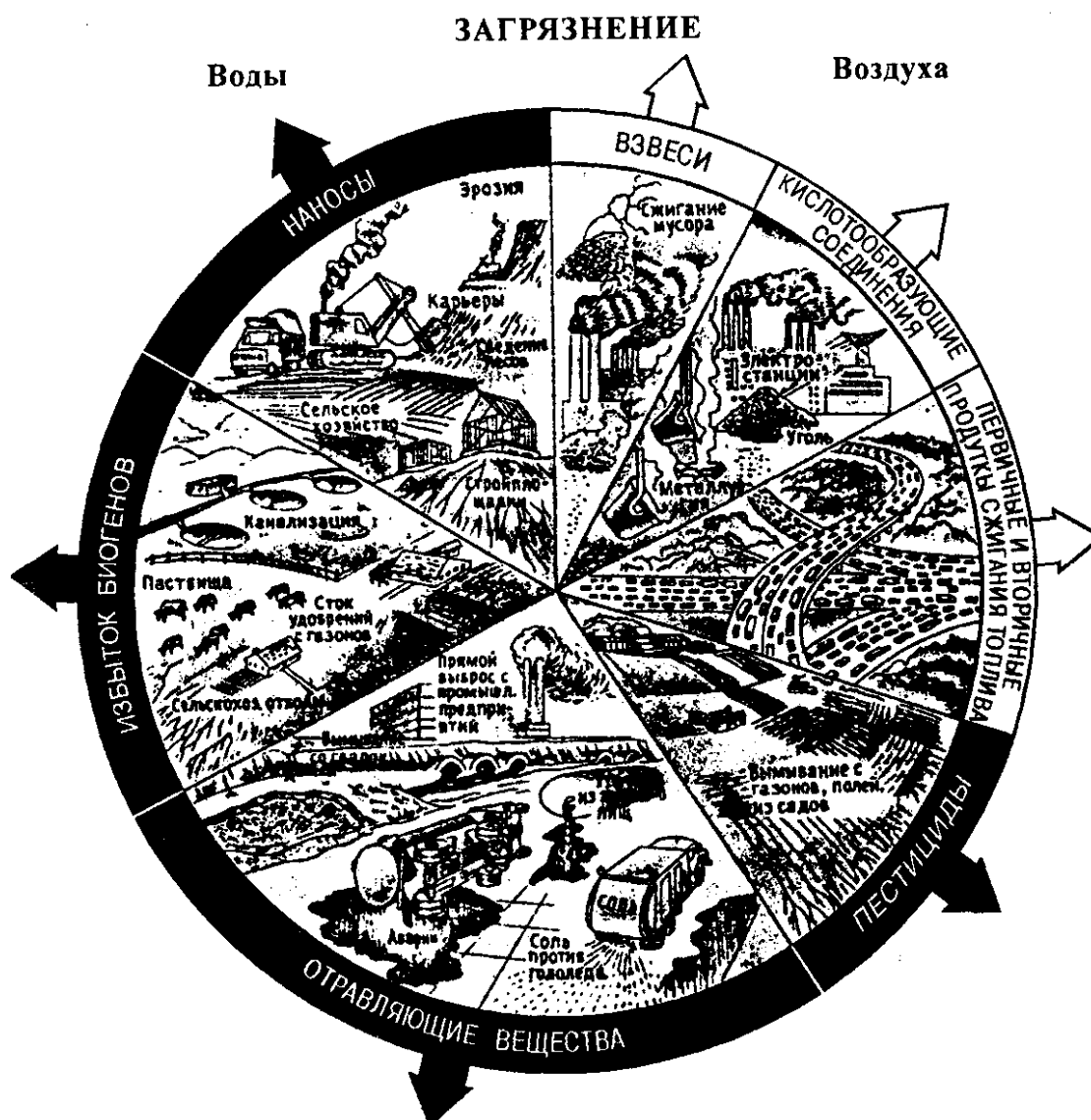


Рис. 13.23. Загрязнение окружающей среды (по Б. Небелу, 1993)

4. Потери плодородных земель, снижение продуктивности экологических систем и в целом биосферы.

5. Прямое или косвенное ухудшение физического и морального состояния человека — главной производительной силы общества.

13.8. Основные источники загрязнения окружающей среды

При абстрактном подходе все проблемы окружающей среды можно свести к человеку, сказать, что любое отрицательное воздействие на окружающую среду исходит от человека — субъекта хозяйственной деятельности, производителя, потребителя, носителя технического прогресса да и просто жителя планеты. В этой связи необходимо проанализировать некоторые аспекты деятельности человека, которые оказывают особо вредное воздействие на среду, и среди них производство, транспорт, потребление,

использование современной техники, урбанизация и т. д. как основные источники загрязнения и ухудшения окружающей среды. Такой подход дает возможность выделить те сферы деятельности человека, которые наносят вред или создают угрозу среде, наметить пути их исправления или предотвращения.

До последнего времени считалось бесспорным, что серьезные нарушения окружающей среды человек совершает в сфере *производственной деятельности*. Заводские и фабричные трубы являлись основным источником загрязнения воздуха, стоки промышленных предприятий — рек и прибрежных морских вод. В конце XX в., когда транспорт и непроизводственная деятельность потеснили промышленность в шкале загрязнителей, промышленное и сельскохозяйственное производство остаются одними из главных источников ухудшения окружающей среды. Рассмотрим несколько подробнее основные источники загрязнения окружающей среды.

Производство энергии. Основой развития любого региона или отрасли экономики является энергетика. Темпы роста производства, его технический уровень, производительность труда, а в конечном итоге уровень жизни людей в значительной степени определяются развитием энергетике. Основным источником энергии в России и многих других странах мира является в настоящее время и будет, вероятно, оставаться в обозримом будущем тепловая энергия, получаемая от сгорания угля, нефти, газа, торфа, горючих сланцев. Так, в 1993 г. в России было выработано 956,6 млрд кВт/ч электроэнергии, в том числе тепловыми электростанциями 662 млрд кВт/ч, гидроэлектростанциями — 175 млрд кВт/ч, атомными электростанциями — 19 млрд кВт/ч.

Основными источниками загрязнения окружающей среды в энергетике являются тепловые электростанции. Наиболее характерно химическое и тепловое загрязнение. Если обычно сго

рание топлива бывает неполным, то при сжигании твердого топлива в котлах на ТЭС или ТЭЦ образуется большое количество золы, диоксида серы, канцерогенов. Они загрязняют окружающую среду и оказывают влияние на все компоненты природы. Например, диоксид серы, загрязняя атмосферу (табл. 13.3), вызывает кислотные дожди.

Таблица 13.3

**Загрязнение атмосферы при работе ТЭЦ
на разных видах топлива, г/кВт/ч**

Выброс	Вид топлива			
	каменный уголь	бурый уголь	мазут	природный газ
SO ₂	6,0	7,7	7,4	0,002
NO _x	21,0	3,4	2,4	1,9
Твердые частицы	1,4	2,7	0,7	-
Фтористые соединения	0,05	1,11	0,004	-

Кислотные дожди, в свою очередь, закисляют почву, снижая тем самым эффективность применения удобрений, изменяют кислотность вод, что

сказывается на видовом многообразии водного сообщества. Существенно влияет SO_2 и на наземную растительность.

В целом же на энергетику по объему выброса в атмосферу приходится 26,6% общего количества выбросов всей промышленности России. В 1993 г. объем выброса вредных веществ в атмосферный воздух равнялся 5,9 млн т, из них пыль — 31 %, диоксид серы — 42%, окислы азота — 23,5%.

К другому источнику загрязнения окружающей среды в энергетике относится сброс загрязненных сточных вод в водоемы. В середине 90-х гг. XX в. в России из 1,5 млрд. м³ сточных вод, требующих очистки, нормативно-очищенными сбрасывалось около 12%.

Источником загрязнения подземных вод являются многочисленные золошлакоотвалы. Сильно загрязнены подземные воды в районе Курска (ТЭЦ-1), Нижнего Новгорода (Сормовская ТЭЦ), Конаково (Конаковская ГРЭС).

К городам с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы, где определяющим является влияние предприятий энергетики, относится Иркутск, Ростов-на-Дону, Саратов, Улан-Удэ, Хабаровск, Чита, Южно-Сахалинск.

Металлургическая промышленность. Черная и цветная металлургия относится к самым загрязняющим природную среду отраслям. На долю металлургии приходится около 40% общероссийских валовых выбросов вредных веществ, из них по газообразным веществам — около 34%. по твердым — около 26% (рис. 13.24).

Агломерационное производство, кг/т агломерата	Доменное производство, кг/т чугуна		Сталеплавильное производство, кг/т стали	Прокатное производство
20-25	100-106	Пыль	13-32—0,1-0,2	кг/т проката
20-50	600-605	Оксид углерода	0,4-0,6—0,7	т/м поверхности металла
3-25	0,2-0,3	Оксиды серы	0,4-35—0,4	—
		Оксиды азота	0,3-3—0,5	—
	10-60	Серо-дород		—
		Аэрозоли травильных растворов		
		Пары эмульсии		

Рис. 13.24. Газовые выбросы (до очистки) основных переделов металлургического производства (без коксохимического)

В среднем на 1 млн т годовой производительности заводов *черной металлургии* выделение пыли составляет 350 т/сут, сернистого ангидрида—200, оксида углерода—400, оксидов азота—42 т/сут.

Черная металлургия является одним из крупных потребителей воды. Водопотребление ее составляет 12—15% общего потребления воды промышленными предприятиями страны. Около 60—70% сточных вод, образующихся в технологическом процессе, относятся к «условно чистым» стокам (имеют только повышенную температуру). Остальные сточные воды (30—40%) загрязнены различными примесями и вредными соединениями.

Концентрация вредных веществ в атмосфере и водной среде крупных металлургических центров значительно превышает нормы. Неблагоприятная экологическая обстановка наблюдается в таких металлургических городах России, как Липецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Челябинск, Череповец и др. Так, в 1993 г. выбросы вредных веществ в атмосферный воздух Череповецким металлургическим комбинатом составили 414,6 тыс. т (12,8% общего выброса по отрасли). Магнитогорским — 388 тыс. т, Новолипецким — 365 тыс. т, Качканарским горнообогатительным комбинатом — 235,9 тыс. т. Выбросы вредных веществ (сероводород, сероуглерод, втористые соединения, бенз(а)пирен, аммиак, фенол, углеводород) из-за большой токсичности стали причиной превышения допустимых санитарно-гигиенических норм. В среднем за год концентрации сероуглерода составляли: в Магнитогорске — 5 ПДК, в Кемерово — 3 ПДК, бенз(а)пирена — в Новокузнецке и Череповце — 13 ПДК, Магнитогорске — 10 ПДК, Нювотроицке — 7 ПДК, Нижнем Тагиле — 5 ПДК.

Одним из лидеров загрязнения окружающей среды продолжает оставаться *цветная металлургия*. В 1993 г. выбросы предприятия цветной металлургии составили 10,6% валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу всей промышленности России.

Загрязнение атмосферы предприятиями цветной металлургии характеризуется в первую очередь выбросами сернистого ангидрида (75% суммарного выброса в атмосферу), оксида углерода (10,5%) и пыли (10,4%).

На воздушный бассейн основную нагрузку по объему выбросов вредных веществ оказывают: комбинат «Южуралникель» (Орск) — 200,3 тыс. т, Среднеуральский медеплавильный завод (Ревда) — 101 тыс. т, Ачинский глиноземный комбинат (Ачинск) — 85,9 тыс. т, Красноярский алюминиевый завод — 77,8 тыс. т, Медногорский медресерный комбинат 65,9 тыс. т.

На предприятиях цветной металлургии значительны объемы сточных вод. В 1993 г. сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты достигал 537,6 млн м³, в том числе на предприятиях концерна «Норильский никель» — 132 млн м³.

Сточные воды предприятий цветной металлургии загрязнены минеральными веществами, фторореагентами, большей частью токсичные (содержат цианиды, ксаногенты, нефтепродукты и т. д.), солями тяжелых металлов (меди, никеля, свинца, цинка и др.), мышьяком, сульфатами, хлоридами, сурьмой, фтором и другими.

Мощными источниками загрязнения почвенных покровов как по

интенсивности, так и по разнообразию загрязняющих веществ являются крупные предприятия цветной металлургии. В городах, где размещены предприятия цветной металлургии, обнаруживаются в почвенном покрове тяжелые металлы нередко в количестве, превышающем ПДК в 2—5 раз и более. Первое место по суммарному индексу загрязнения почвенного покрова занимает Рудная Пристань (Приморский край), где расположен свинцовый завод. В радиусе 5 км вокруг Рудной Пристани наблюдается загрязнение почв:

свинцом — 300 ПДК, марганцем — 2 ПДК и другие. К опасной категории загрязнения почв относятся города: Белове (Кемеровская область), в которых содержание свинца в почвенном покрове достигает 50 ПДК; Ревда (Свердловская область) — содержание ртути — до 7 ПДК, свинца — до 5 ПДК.

Химическая, нефтехимическая и целлюлозно-бумажная промышленность. Эти отрасли относятся к одним из основных загрязнителей воздушного бассейна (углекислый газ, окись углерода, сернистый газ, углеводороды, соединения азота, хлора, мышьяка, ртути и т. д.), воды и почвы (нефть и продукты нефтехимии, фенолы и другие ядовитые вещества, сульфитные сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности и др.). Так, в 1992 г. предприятиями химической и нефтехимической промышленности было выброшено в атмосферу около 1,6 млн т загрязняющих веществ, что равнялось примерно 6% общих выбросов по России. Данные выброса вызывали загрязнение почв металлами выше ПДК в радиусе до 5 км вокруг городов, где они расположены. Из 2,9 км³ сточных вод надолго загрязненных приходилось около 80%, что свидетельствует о крайне неэффективной работе очистных сооружений этих предприятий. Это отрицательно сказывается на гидрохимическом состоянии водных объектов. Например, река Белая выше Стерлитамака (Башкортостан) относится к III классу («грязной»). Аналогичное состояние отмечается и с водами реки Оки после сбросов заводами Дзержинска, в которых резко возрастает содержание метанола, цианидов, формальдегида. После сбросов сточных вод Чапаевского завода химических удобрений река Чапаевка становится практически непригодной для использования из-за высокого загрязнения ее вод пестицидами.

Предприятия химической и нефтехимической промышленности являются источниками загрязнения подземных вод металлами, метанолом, фенолом в концентрациях, достигающих нередко сотен тысяч ПДК на площадях в десятки квадратных километров, что приводит к невозможности использования водоносных горизонтов для питьевого водоснабжения.

Проблема охраны окружающей среды, связанная с химической, нефтехимической и целлюлозно-бумажной промышленностью, особенно актуальна в связи с увеличением в химическом производстве доли синтетических продуктов, которые в природной среде не разлагаются или разлагаются очень медленно.

Транспортно-дорожный комплекс и связь. Негативная роль транспортно-дорожного комплекса в ухудшении качества окружающей среды в 70—90-е гг. XX в. постоянно возрастает. Из 35 млн т вредных выбросов 89% приходится на выбросы предприятий автомобильного транспорта (рис. 13.25) и

дорожно-строительного комплекса, 8% — на железнодорожный транспорт, около 2% — на авиатранспорт и около 1 % — на водный транспорт.

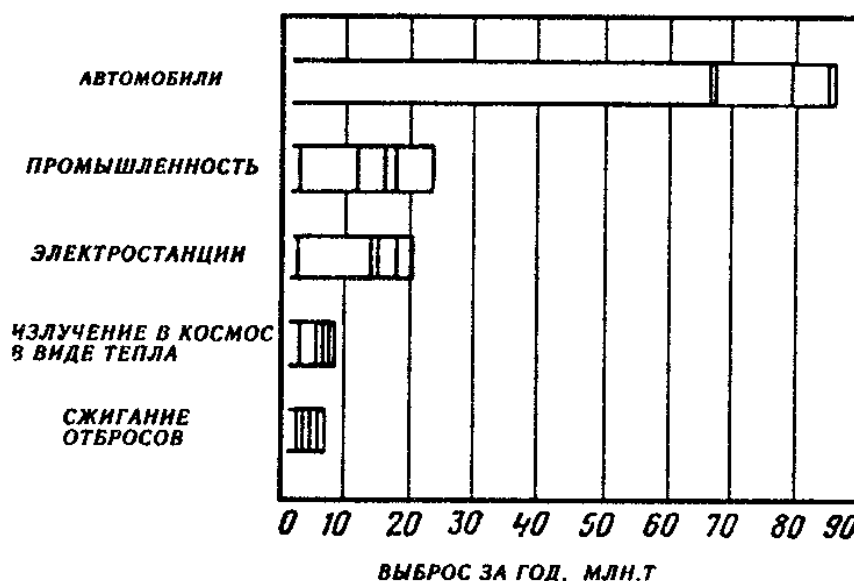


Рис. 13.25. Источники загрязнения атмосферы продуктами горения (по С. Синглеру, 1972)

Выбросы от автомобильного транспорта в нашей стране составляют около 22 млн т в год. Более 200 наименований вредных веществ и соединений, в том числе и канцерогенных, содержат отработанные газы двигателей внутреннего сгорания. Нефтепродукты, продукты износа шин и тормозных накладок, сыпучие и пылящие грузы, хлориды, используемые в качестве антиобледенителей дорожных покрытий, загрязняют придорожные полосы и водные объекты.

Загрязнение атмосферы асфальтобетонными заводами имеет существенное значение, так как выбросы этих предприятий содержат канцерогенные вещества. В настоящее время эксплуатируемые асфальтосмесительные установки разной мощности выбрасывают в атмосферу от 70 до 300 т взвешенных веществ в год.

Ежегодно на подвижных дорожных объектах, которые обеспечивают строительство, ремонт и содержание дорог общего пользования, выбрасывается 450 тыс. т пыли, сажи и других вредных веществ. Свыше 130 тыс. т загрязняющих веществ поступает от стационарных источников загрязнения.

В поверхностные водоемы этими же предприятиями сбрасывается 43 млн м³ загрязненных сточных вод.

От работы воздушного транспорта выбросы в атмосферный воздух в 1992 г. составили 280 тыс. т. Из-за высокого шумового воздействия воздушного транспорта серьезные проблемы возникают для прилегающих к аэропортам территорий жилой застройки. Наблюдается заметный рост доли населения, страдающего от авиационного шума. Это связано главным образом с расширением географии аэропортов, которые принимают самолеты более

шумных типов (Ил-761, Ил-86 и др.) по сравнению с ранее эксплуатируемыми, например, Ту-134, Ту-154, Як-42 и др. В 90-х гг. XX в. около 2—3% населения России постоянно подвержено воздействию авиационного шума, превышающего нормативные требования.

В 1992 г. на железнодорожном транспорте объем выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников составлял 465 тыс. т, из которых только 28,6% уловлено и обезврежено, а 71,4%, или 331,5 тыс. т, выброшено в атмосферу, в том числе твердых веществ — 98,2 тыс. т, оксида углерода—122,6 тыс. т, оксидов азота—21,5 тыс. т. Выбросы от передвижных источников составили более 2 млн т.

Негативным образом сказывается на здоровье людей возрастание общего *электромагнитного фона*, особенно в крупных промышленных центрах. Основными источниками электромагнитных полей являются радиотехнические объекты, телевизионные и радиолокационные станции, термические цеха, высоковольтные линии электропередач (ЛЭП-500, ЛЭП-750).

Сельское и лесное хозяйство. Производственная деятельность в сельском и лесном хозяйстве наиболее тесно связана с природной средой, так как она протекает непосредственно в природе. Однако с внедрением индустриальных методов и в этих отраслях произошли существенные изменения, которые неблагоприятно сказываются на среде. Механизация и химизация сельского хозяйства сопровождается загрязнением выхлопными газами атмосферного воздуха, загрязнением маслами, бензином дорог. Минеральные удобрения, особенно азотные и фосфорные, а также химические средства защиты растений (пестициды) загрязняют почву, воду, а в результате могут нанести вред здоровью людей.

Нерациональное землепользование вызывает эрозию почвы, а нерациональное ведение лесного хозяйства ведет к обезлесению, вызывающее в свою очередь изменения в растительном и животном мире, нередко приводящие к исчезновению некоторых видов растений и животных. Более подробно последствия производственной деятельности в сельском и лесном хозяйстве мы рассмотрим в разделах антропогенное воздействие на растительность и воздействие сельскохозяйственной деятельности человека на природу.

Военно-промышленный комплекс. Военно-промышленный комплекс (ВПК) относится к одному из основных природопользователей, влияние которого на окружающую среду обладает большой разрушительной силой. На окружающей среде деятельность ВПК негативно отражается не только во время войн, но и в мирное время. Современная армия, как в нашей стране, так и за рубежом, требует все возрастающих пространств для своего функционирования. Размеры территории и степень воздействия на нее многократно увеличиваются во время маневров и учений. Дислокация столь огромной военной мощи вызывает на обширной территории значительную деградацию природных комплексов.

Значительное загрязнение воздуха и земли происходит в процессе производства, испытания и хранения обычного, химического, биологического и

ядерного оружия.

Промышленные комплексы по производству вооружения потребляют колоссальные количества дефицитного сырья и энергии. Например, на военные нужды расходуется 9% всей мировой продукции металлургии. По данным США, для строительства и развертывания только одной мобильной межбаллистической ракеты требуется 4,5 тыс. т стали, 2,2 тыс. т цемента, 50 т алюминия, 12,5 т хрома, 750 кг титана, 120 кг бериллия. Их функционирование связано с большим экологическим риском¹.

Отрицательное воздействие на окружающую среду оказывают и испытания ядерного оружия, которое несет губительные последствия для растительного и животного мира, но самое опасное, когда в зоне испытаний оказывается человек (рис. 13.26).

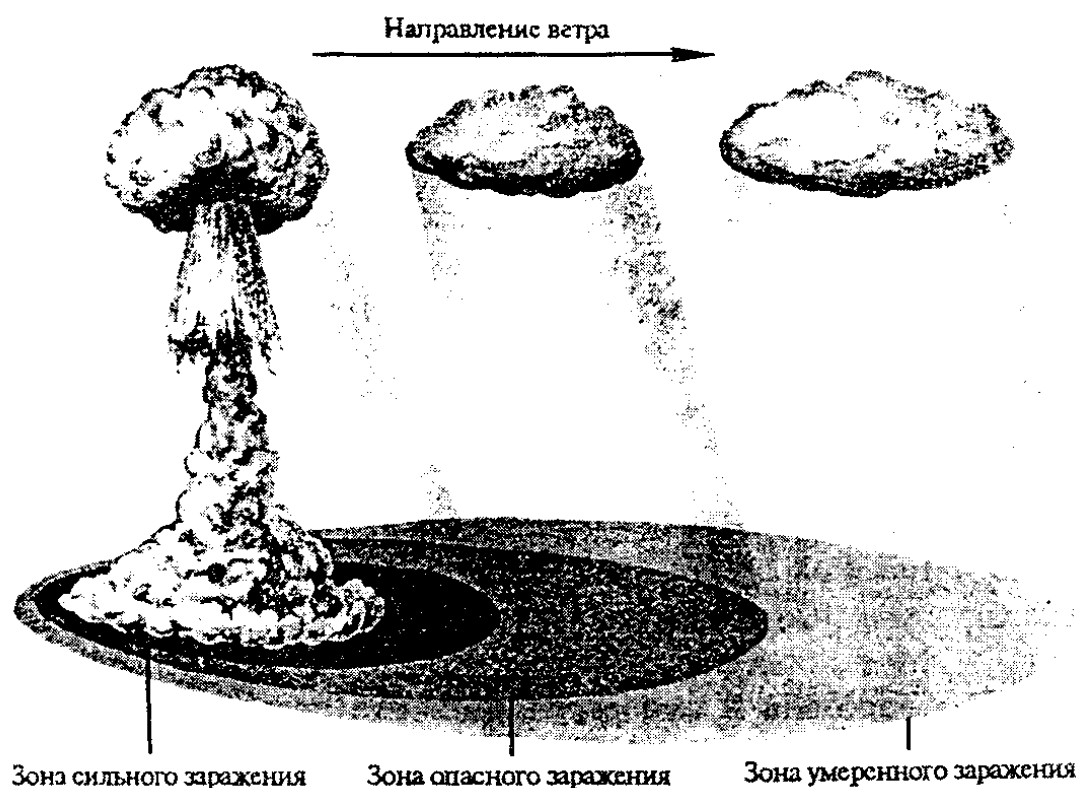


Рис. 13.26. Радиоактивное заражение при ядерном взрыве
(по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Испытания влекут за собой опасность радиоактивного облучения, в результате которого возникают тяжелые заболевания (лейкемия, рак щитовидной железы).

В последние годы стало ясно, что и разоружение, уничтожение оружия, в первую очередь ядерного, химического и биологического, связаны с огромным экологическим риском.

Опаснейшим в деятельности ВПК являются войны, несущие обширные опустошения. Войны были постоянным спутником человека. С 1496 г. до н. э. по 1861 г. люди жили в мире только 227 лет, а воевали 3130 лет. В период с

1900 по 1938 г. произошло 24 войны, а с 1946 по 1979г.— 130 войн. Военные действия обычно охватывают огромные территории государств, в зоне которых происходит непосредственное разрушение всей природной среды обитания.

Трудно в конце XX в. представить все последствия ядерной войны. Но одно несомненно, что главное последствие ядерной войны — это столь сильное глобальное разрушение природной среды и социально-экономических структур человеческого общества, исключающее возврат к предвоенному состоянию.

К мерам по снижению воздействия ВПК на окружающую среду, несомненно, относятся проблема разоружения и решение любых конфликтов между государствами путем мирных переговоров. Вероятность военных конфликтов тем меньше, чем выше уровень цивилизации и культуры стран.

13.9. Техногенные аварии и природные катастрофы

Серьезными факторами дестабилизации среды жизни человека становятся *техногенные аварии и природные катастрофы*. Многие ученые, специалисты указывают на усиление связи между ними и на приобретение многими из них глобально-экологического характера. В докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию в 1987 г. говорится, что за два с половиной года такие экологические катастрофы и бедствия:

- вызванный засухой кризис окружающей среды и развития в Африке привел к гибели около 1 млн человек и поставил под угрозу жизнь 35 млн человек;

- взрыв цистерн с жидким газом в Мехико привел к гибели 1000 человек, несколько тысяч жителей лишились крова;

- от утечки газа на заводе по производству пестицидов в Бхопале (Индия) более 2000 человек погибли и свыше 200 тыс. человек серьезно пострадали;

- в результате взрыва реактора на атомной электростанции в Чернобыле в Европе выпали радиоактивные осадки, повысив риск заболевания раком;

- от пожара на складе химического завода в Базеле (Швейцария) в Рейн попали агрохимикаты, растворители и ртуть, приведшие к гибели миллионов особей рыб и создавшие критическую ситуацию в снабжении питьевой водой населения ФРГ и Нидерландов;

- по оценочным данным, около 60 млн человек погибли от диареи и схожих с ней заболеваний, вызванных потреблением загрязненной питьевой воды и недоеданием; среди жертв главным образом были дети.

В 90-х гг. XX в. число техногенных аварий продолжало нарастать. Как во всем мире, в России развитие промышленности характеризуется ростом доли используемых пожаро-, взрыво-, химически опасных технологий, которые являются потенциальными источниками крупных производственных аварий. Так, в 1991 г. в Российской Федерации произошло 364 аварии техногенного характера, в которых погибли 1023 и пострадали 2693 человека. В 1993 г. в

результате аварий техногенного характера погибли 1050 и пострадали 3232 человека. В 1993 г. количество пожаров и взрывов по сравнению с 1992 г. увеличилось в 1,5 раза, а число погибших и пострадавших в результате пожаров и взрывов — почти в 2,5 раза. В 1997 г. количество аварий и катастроф техногенного характера по сравнению с 1996 г. возросло на 8,7%. В них погиб 1651 человек.

Наиболее опасными по экологическим последствиям являются аварии: в угольной, нефте- и газодобывающих отраслях промышленности; металлургии, химической, нефтехимической и микробиологической отраслях промышленности и на транспорте.

На магистральных нефте-, газо- и продуктопроводах в 1993 г. произошло 57 аварий, сопровождавшихся потерями сырья, возникновением пожаров, загрязнением больших территорий. В результате только одной аварии на линейной части магистрального нефтепровода Красноярск—Иркутск (март 1993 г.) разлилось около 25 тыс. м³ нефти и были уничтожены десятки гектаров плодородной земли. Количество аварий на магистральных трубопроводах в 1997 г. по сравнению с 1996 г. увеличилось на 18,6 %.

На угольных шахтах в 1996—1997 гг. произошло 10 крупных аварий, в которых погибло 190 человек:

- 11 марта 1996 г. — пожар на луганской шахте «Суходольская-Восточная» ПО «Краснодонуголь». Погибли 8 горняков.
- 12 сентября 1996 г. — возгорание угля на шахте в Шарыпово Красноярского края. 3 человека погибли от отравления угарным газом.
- В середине сентября 1996 г. — взрыв на шахте «Кадыкчан» Магаданской области. 6 человек погибли.
- 17 ноября 1996 г. — взрыв на шахте «Батуринская» объединения «Челябинскуголь». 9 человек погибли.
- 17 февраля 1997 г. — взрыв метана на шахте «Куллярская» Челябинской области. Погибли 4 человека.
- 18 июня 1997 г. — взрыв метана на шахте «Бошняково» АО «Сахалинуголь». 4 человека погибли.
- 22 августа 1997 г. — произошел внезапный выброс метана на шахте «Киселевская-12» Кемеровской области. Погибли 5 человек.
- 18 сентября 1997 г. — на шахте рудника «Баренцбург» АО «Арктикуголь» (архипелаг Шпицберген, Норвегия) в результате взрыва метана погибли 12 человек.
- 15 ноября 1997 г. — на шахте «Нагорная» Кизеловского угольного бассейна из-за отравления газом погибли 2 горняка.
- 2 декабря 1997 г. — на шахте «Зыряновская» в Новокузнецке Кемеровской области в результате взрыва метана погибло 67 человек.

На шахте «Центральная» в Воркуте 18 января 1998 г. из-за взрыва метана погибло 27 человек.

В 1994—1997 гг. в России произошли крупные авиакатастрофы
1994

- 3 января. Ту-154 разбился в Сибири. 124 человека погибло.

- 23 марта. Аэробус А-310, арендованный «Аэрофлотом», разбился около города Новокузнецк. 70 человек погибло.

- 26 сентября. Самолет Як-40 разбился около пос. Ванавара в Сибири. 26 человек, находившихся на борту, погибли.

- 29 октября. 21 человек погиб, когда самолет Ан-12 разбился возле Усть-Илимска.

1995

- 16 июня. По крайней мере 12 человек погибло, когда вылетевший из пос. им. П. Осипенко Ан-2 разбился из-за плохой погоды.

- 8 апреля. Самолет Ил-76 разбился при посадке в Петропавловске-Камчатском. 14 человек погибло.

- 7 декабря. Ту-154 с 97 человеками на борту исчез во время полета в Хабаровск

1996

- 29 августа. Пассажирский Ту-154, летевший на Шпицберген, врезался в гору. 143 человек погибло.

- 14 ноября. 13 человек погибло, когда изношенный Ан-2 разбился в республике Коми.

- 28 ноября. Военный самолет Ил-76 разбился в Сибири. Все 23 человек, находившиеся на борту, погибли.

- 17 декабря. 17 человек погибло, когда военный самолет Ан-2 разбился возле Пскова.

1997

- 18 марта. 50 человек погибло, когда у самолета Ан-24, выполнявшего чартерный рейс в Турцию, оторвался хвост,

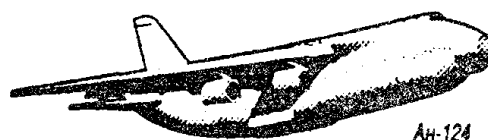
- 6 декабря. 67 человек погибло, когда Ан-124 упал на окраину г. Иркутска (рис. 13.27).

- 11 декабря. 12 человек погибло в результате авиакатастрофы в аэропорту г. Нарьян-Мар.

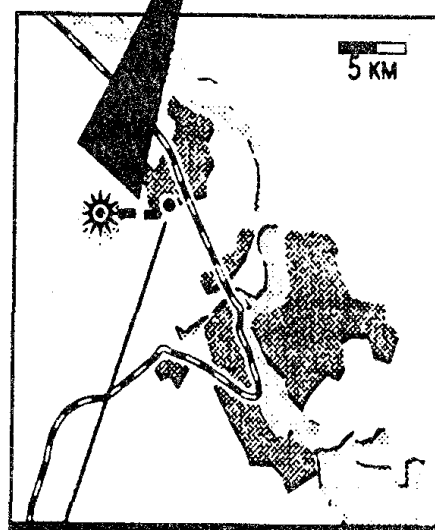
2000

- 12 августа. Авария на атомной подводной лодке «Курск» в Баренцовом море, погибло 118 человек.

Большие разрушения и гибель людей наблюдаются не только при техногенных авариях, но и во время природных катастроф. Так, в 1989 году после



Ан-124



Самолет взлетел с военного аэродрома

Рис. 13.27. Авиакатастрофа Ан-124 6 декабря 1997 г. в г. Иркутске

Примечание: Ан-124 имеет четыре двигателя типа ТРДД-18Т. Размеры грузовой кабины: длина 36 м, ширина 6,4 м, высота 4,4 м. Максимальная грузоподъемность 150 т, максимальная взлетная масса 405 т

необычайно сильной вспышки солнечной активности в марте в течение полутора месяцев в Евразии зарегистрировано по меньшей мере 12 значительных землетрясений силой от 4 до 9 баллов (по 12-балльной шкале), в том числе и в зонах, считавшихся сейсмически стойкими. Затем последовали извержения вулкана на острове Итуруп, сильнейшие сходы лавин, оползни и сели в Аджарии, наводнение в Западной Украине, резкое похолодание в Средней Азии со снегопадами и массовой гибелью скота, небывало сильный градобой в Ставрополе и Восточной Грузии.

В 1996 г. на Земле произошло 600 различных природных катастроф, в том числе 200 ураганов, 170 наводнений и 50 землетрясений. Стихия унесла 11 тыс. человеческих жизней, материальный ущерб от нее составил 60 млрд долл. В результате землетрясения в Северном Афганистане, произошедшего 3 февраля 1998 г., 4 тыс. жителей провинции Тахор погибли, 15 тыс. остались без крова, имеются большие разрушения.

Крупнейшие землетрясения 1999г.:

- Острова Санта-Круз в Карибском море — февраль, более 7 баллов.
- Папуа-Новая Гвинея — май, два толчка, около 7 баллов. Малая заселенность этих районов не привела к большому количеству жертв.
- Мехико — июнь, около 6,5 баллов. Меры сейсмоустойчивости снизили число жертв до 100—200 человек.
- Турция — август, 7,6 балла, 17 тыс. жертв. Самая крупная катастрофа года.
- Греция — сентябрь, около 7 баллов, 2 тыс. погибших.
- Тайвань — сентябрь, более 7 баллов, 2 400 погибших.
- Алжир — декабрь, 6 баллов, 30 погибших.
- Крупнейшее землетрясение в России за последние годы было в 1995 году на Сахалине, когда погибло более 2 тысяч человек. В России в 1991 г. было зарегистрировано 166 природных катастроф, в результате которых погибло 112, пострадало 13486 человек. Количество природных катастроф в 1997 г. по сравнению с 1996 г. увеличилось на 29,7%.

Наибольшую опасность представляли смерчи, ураганы, наводнения. Суммарный ежегодный социально-экономический ущерб от аварий в высокорисковых отраслях составляет около 15—19 млрд рублей. Такой же порядок имеет социально-экономический ущерб от природных катастроф (землетрясений, наводнений, селей, оползней и т. д.). Ежегодные потери от аварий и катастроф техногенного и природного характера измеряются тысячами человеческих жизней и невосполнимым ущербом природной среде. Анализ техногенных аварий и природных катастроф приводит к заключению, что *главные источники опасности для человека происходят из созданной им среды.*

13.10. Экологическая ситуация

Экологическая ситуация — это локальное или региональное ухудшение окружающей среды, например, загрязнение вод, воздуха, деградации почв и т.

д., рассматриваемое как общественно неоправданное или опасное. Термин «экологическая ситуация», как правило, применяют к антропогенным, а не природным явлениям.

Острота проявления региональных экологических проблем определяется показателями изменения природных условий, которые: а) влияют на санитарно-гигиеническую обстановку; б) ведут к истощению природных ресурсов; в) нарушают и видоизменяют естественные ландшафты. Здесь учитывается загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод, эрозия почв, нарушение земель горными разработками, снижение и потеря рекреационных качеств ландшафта, деградация лесов и естественных кормовых угодий, истощение рыбных ресурсов, нарушение режима особо охраняемых территорий (рис. 13.27).

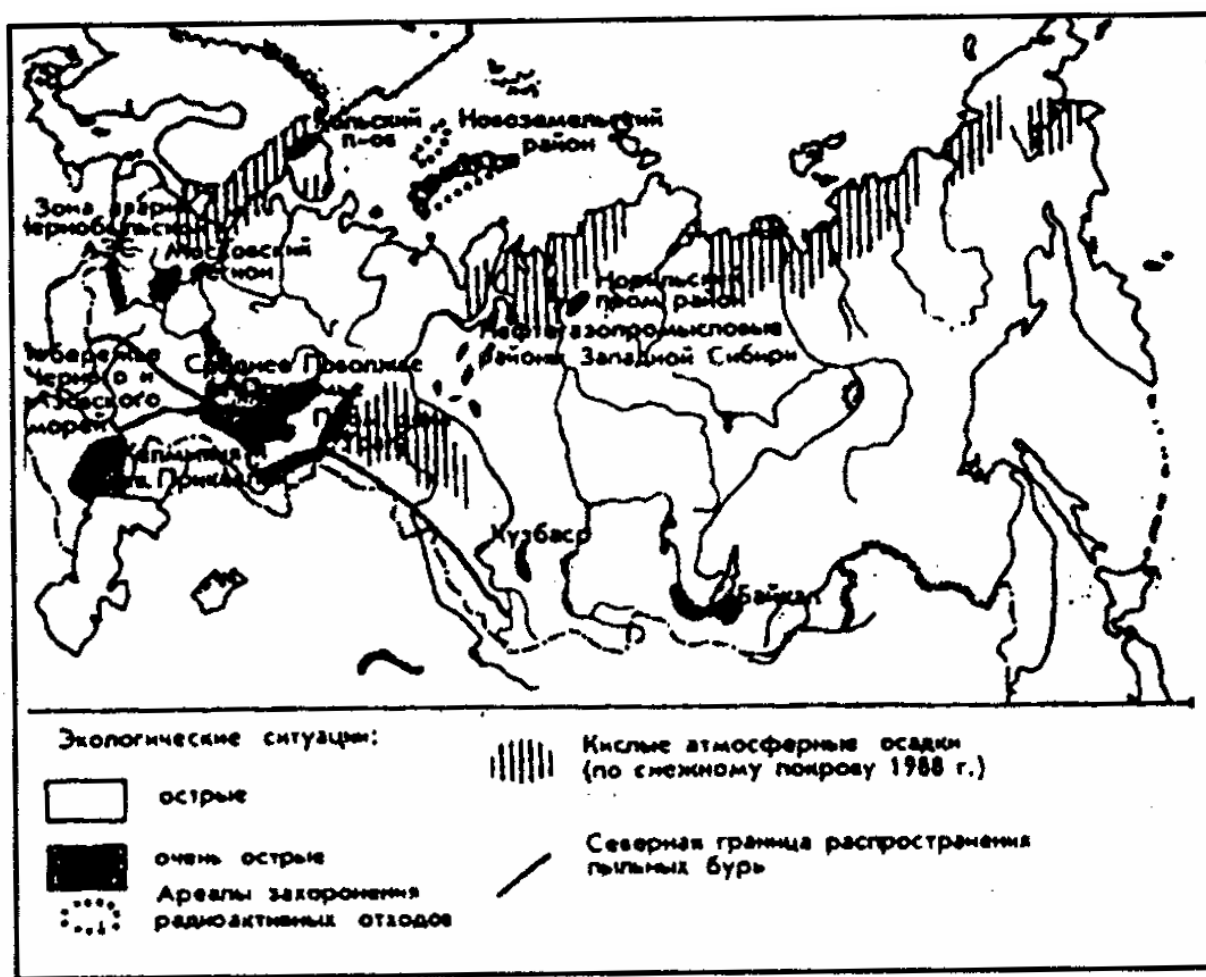


Рис. 13.27. Экологическая ситуация на территории Российской Федерации

Все ареалы экологических ситуаций по степени остроты делятся на две категории: острые и очень острые. Эти зоны в 90-х годах XX столетия занимали около 20% территории России, в них проживала пятая часть россиян. Очень острые экологические ситуации возникают там, где состояние природной среды начинает прямо угрожать условиям жизни населения, а

отдельные экологические проблемы достигают критической, кризисной или катастрофической степени остроты. Создаются зоны чрезвычайной экологической ситуации и зоны экологического бедствия. Например, научные открытия и развитие физико-химических технологий в XX столетии привели к появлению искусственных источников радиации, представляющих потенциальную опасность для человечества и биосферы. По Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994), многолетняя деятельность ПО «Маяк» (Челябинская область) привела к накоплению чрезвычайно, больших количеств радионуклидов и загрязнений Уральского региона (районов Челябинской, Свердловской, Курганской и Тюменской областей). Сброс отходов радиохимического производства в 1949—1951 гг. в открытую гидрологическую систему Обского бассейна через реку Теча, а также в результате аварий 1957 и 1967 гг. в окружающую среду было выброшено 23 млн кюри. Радиационное загрязнение охватывало территорию 25 тыс. км² с населением более 500 тыс. человек (рис. 13.28).

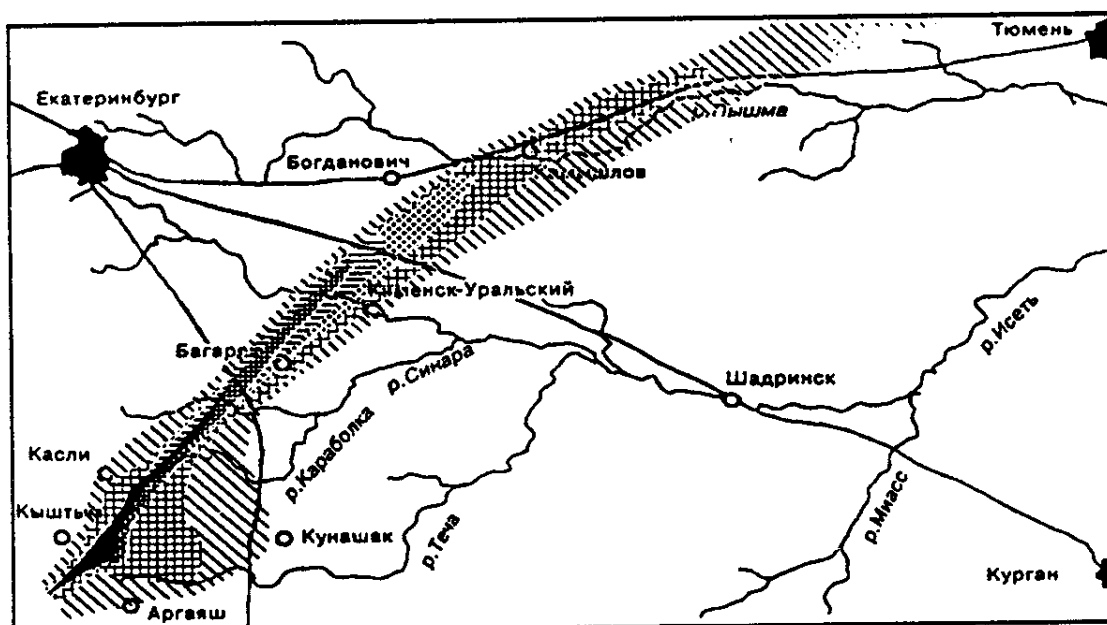


Рис. 13.28. Карта-схема «Уральского радиоактивного следа», связанного с аварией на ПО «Маяк» (Челябинская область)

Опаснейшими загрязнениями природной среды являются ТЭЦ, на которых сжигаются огромные объемы топлива. Миллионы кубометров вредных и опасных отходов от работы тепловых электростанций практически целиком поступают в природную среду.

В 1997 г. число чрезвычайных ситуаций на химических производствах по сравнению с 1996 годом выросло на 3 8%, а в системах жизнеобеспечения на 24,5 %.

В пределах России в конце XX в. отмечалось 13 регионов с очень острой экологической ситуацией. В табл. 13.4 представлены регионы Российской Федерации с очень острой экологической ситуацией. Дана краткая

характеристика их экологических проблем.

Таблица 13.4

Регионы Российской Федерации с очень острой экологической ситуацией (по состоянию на 1991 г.)

Регион	Экологические проблемы, вызванные антропогенным воздействием
1. Кольский полуостров	Нарушение земель горными разработками, истощение и загрязнение вод суши, атмосферы, деградация лесных массивов и естественных кормовых угодий, нарушение режима особо охраняемых природных территорий.
2. Московский регион	Загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, утрата продуктивных земель, загрязнение почв, деградация лесных массивов
3. Северный Прикаспий	Нарушение земель разработками нефти и газа, истощение и загрязнение вод суши, морей, истощение рыбных ресурсов, вторичное засоление и дефляция почв, загрязнение атмосферы, нарушение режима особо охраняемых территорий
4. Среднее Поволжье и Прикамье	Истощение и загрязнение вод суши, нарушение земель горными разработками, эрозия почв, оврагообразование, загрязнение атмосферы, обезлесение, деградация лесных массивов
5. Промышленная зона Урала	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, почв, утрата продуктивных земель, деградация лесных массивов
6. Нефтегазопромысловые районы Западной Сибири	Нарушение земель разработками нефти и газа, загрязнение почв, деградация оленьих пастбищ, истощение рыбных ресурсов и промысловой фауны, нарушение режима особо охраняемых территорий
7. Кузбасс	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, почв, утрата продуктивных земель, дефляция почв
8. Районы озера Байкал	Загрязнение вод, атмосферы, истощение рыбных ресурсов, деградация лесных массивов, оврагообразование, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, нарушение режима особо охраняемых природных территорий
9. Норильский промышленный район	Нарушение земель горными разработками, загрязнение воздуха и вод, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, нарушение режима охраняемых лесов, снижение природно-рекреационных качеств ландшафта
10. Калмыкия	Деградация естественных кормовых угодий, дефляции почв
11. Новая Земля	Радиоактивное загрязнение
12. Зона влияния аварии на Чернобыльской АЭС	Радиационное поражение территорий, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод, суши, почв

13. Рекреационные зоны побережий Черного и Азовского морей	Истощение и загрязнение вод суши, загрязнение морей, атмосферы, снижение и потеря природно-рекреационных качеств ландшафта, нарушение режима особо охраняемых территорий
--	--

На экологическую ситуацию в России большое влияние оказывает состояние окружающей среды сопредельных государств. Пример тому – взрывы, пожар и извержение продуктов аварии в 1986 г. на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС (Украина) стали катастрофой глобального масштаба. Было выброшено из разрушенного реактора около 7,5 т ядерного топлива и продуктов деления с суммарной активностью не менее 50 млн кюри. Чернобыльским выбросом в разной степени загрязнены 80 % территории Белоруссии, северная часть Правобережной Украины, 17 областей Российской Федерации (рис. 13.29).

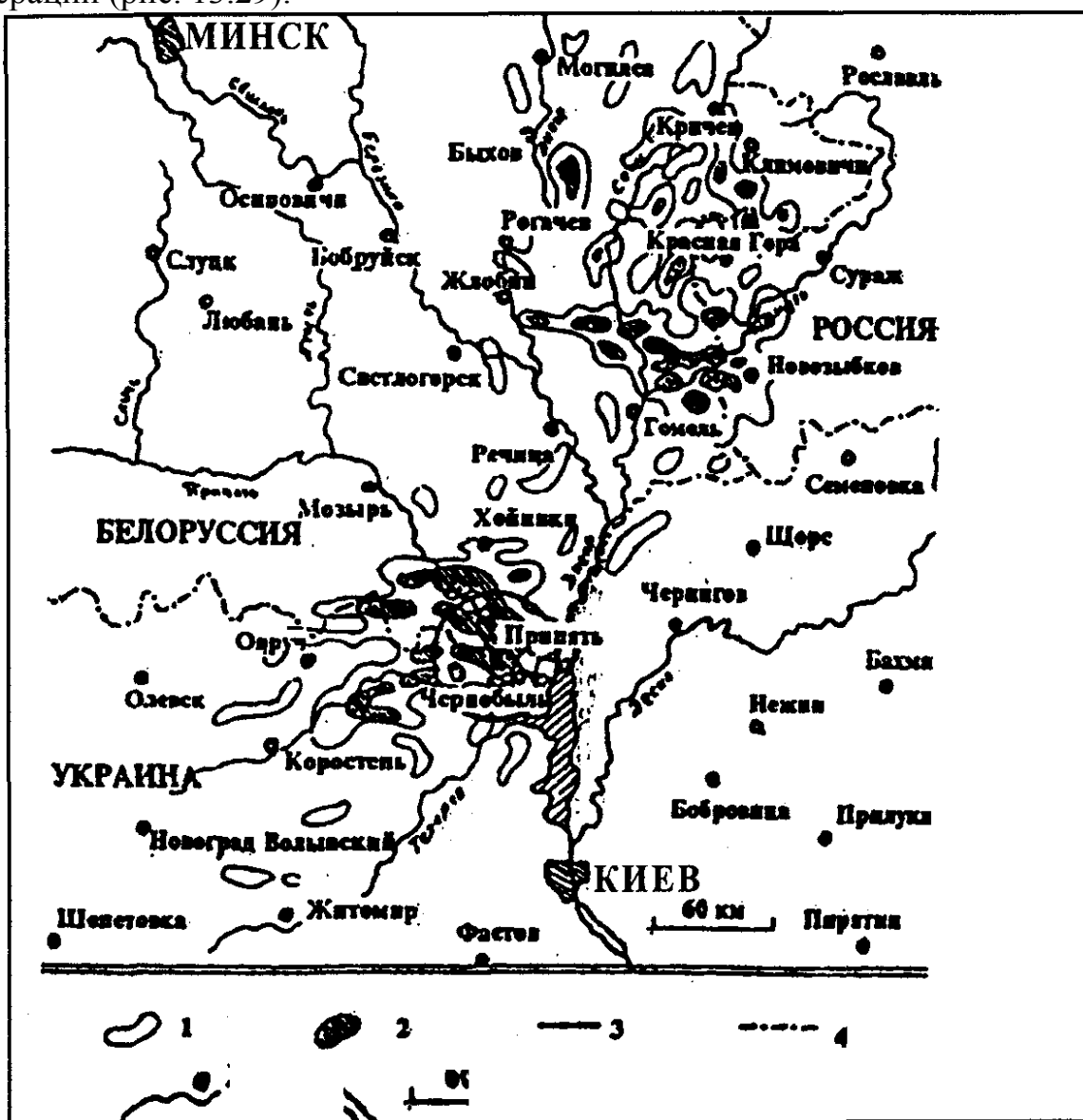


Рис. 13.29. Карта-схема территории с наиболее интенсивным загрязнением радионуклидами выброса в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году:

1 — изолинии активности 15 кюри/км²; 2 — зоны с активностью более 40 кюри/км²; 3 — границы 30-километровой зоны; 4 — государственные границы (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Таким образом, трансграничный перенос и «экспорт» загрязнения затрагивают интересы соседних стран, поэтому только широкое международное сотрудничество позволит обеспечить экологически безопасную деятельность человека.

14. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

14.1. Структура и состав атмосферы

Атмосфера — газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водных паров и пыли. Через атмосферу осуществляется обмен вещества Земли с Космосом. Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, теряет самые легкие газы: водород и гелий. Атмосфера Земли насквозь пронизывается мощной радиацией Солнца, определяющей тепловой режим поверхности планеты, вызывающей диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов. Атмосфера имеет четко выраженное слоистое строение (см. рис. 2.2). Нижний, наиболее плотный слой воздуха — *тропосфера*. В зависимости от широты Земли ее высота 10—15 км. Здесь содержится 80 % массы атмосферы и до 80% водяного пара, развиваются физические процессы, формирующие погоду и влияющие на климат различных районов нашей планеты. Над тропосферой до высоты 40 км расположена *стратосфера*. В ней находится озоновый слой, поглощающий большую часть ультрафиолетовой радиации и предохраняющий жизнь на Земле. Выше находится *ионосфера*, которая обладает повышенной ионизацией молекул газа. Этот слой высотой до 1300 км также оберегает все живое от вредного воздействия космической радиации, влияет на отражение и поглощение радиоволн. Далее до 10 000 км простирается *экзосфера*, где плотность воздуха с увеличением высоты убывает, приближаясь к разреженности вещества в максимальном пространстве.

Принято выделять постоянные и переменные компоненты атмосферы в зависимости от длительности пребывания в атмосфере. Таким примером является вода, находящаяся в атмосфере в разных формах и концентрациях. В то же время такое подразделение составных частей атмосферы является относительным, так как в течение длительных интервалов времени все компоненты атмосферы оказываются переменными. Приблизительный состав атмосферы представлен в таблице 14.1.

Главными составными частями атмосферы являются азот, кислород, аргон и углекислый газ.

Одним из важнейших компонентов атмосферы является озон (О₃). Его образование и разложение связаны с поглощением ультрафиолетовой радиации Солнца, которая губительна для живых организмов. Он же задерживает 20%

инфракрасного излучения Земли, повышая утепляющее действие воздушного покрывала. Основная масса озона располагается на высотах 22—24 км. Озоновый слой часто называют «озоновым экраном» (рис. 14.1).

Таблица 14.1

Приблизительный состав атмосферы*

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	по объему	по массе
Азот	78,084	75,5
кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар:		
в полярных широтах	0,2	-
у экватора	2,6	-
Озон:		
в тропосфере	0,000001	-
в стратосфере	0,001-0,0001	-
Метан	0,00016	0,00009
Оксид азота	0,000001	0,0000003
Оксид углерода	Тысячные доли, в воздухе городов - до 0,000008	0,0000078

Таким образом, мощность воздушной оболочки, защищающей жизнь на нашей планете от безжизненного космоса, по земным масштабам, значительна — 1,5 тыс. км, или около 1/4 радиуса Земли, по масштабам космическим ничтожна — составляет 1/100000 расстояния от Земли до Солнца. 3/4 воздуха сосредоточено в нижнем ее слое — тропосфере.

Плотность атмосферы существенно падает с высотой, но даже у самого уровня моря — около $0,001 \text{ г/см}^3$, т. е. почти в 1000 раз меньше плотности воды — она, по житейским нашим меркам, вообще не укладывается в средства защиты. И тем не менее именно «невесомый» воздух — безотказная защита планеты от губительных для живого воздействия космоса. Пробыть эту «броню» в состоянии лишь крупные, с исходной массой в десятки и сотни тонн метеориты — явление чрезвычайное.

* Таблица отражает только порядок чисел (например, массу атмосферы оценивают от $5,15$ до $5 \cdot 10^{15}$ т), поскольку количество атмосферных примесей непрерывно меняется (растет содержание CO_2 и других газов и т. п.).

Количество пыли в атмосфере зависит от интенсивности вулканизма, антропогенных выбросов и скорости осаждения частиц, поэтому трудно определимо.

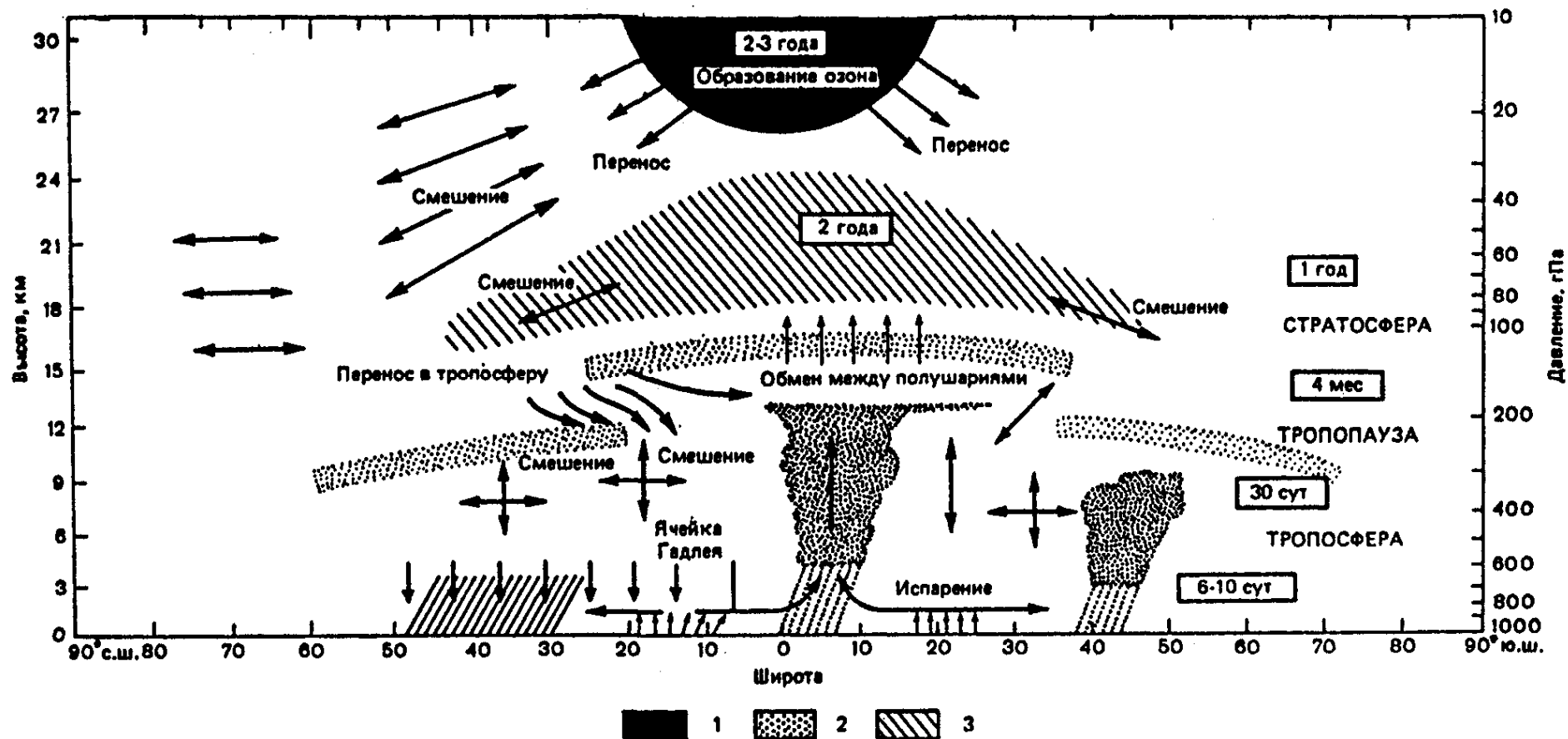


Рис. 14.1. Распределение и перенос озона (1), воды (2) и примесей (3) в атмосфере Земли (Newell, 1971)

14.2. Источники и состав загрязнения атмосферного воздуха

Проблема чистоты атмосферы не нова. Она возникла вместе с появлением промышленности и транспорта, работающих на угле, а затем на нефти. В течение практически двух столетий задымление воздуха носило местный характер. Дым и копоть сравнительно редких заводских, фабричных и паровозных труб почти полностью рассеивались на большом пространстве. Однако быстрый и повсеместный рост промышленности и транспорта в XX в. привел к такому увеличению объемов и токсичности выбросов, которые уже не могут быть «растворены» в атмосфере до безвредных для природной среды и человека концентраций.

Загрязнение атмосферы имеет естественное и искусственное происхождение (рис. 14.2).



Рис. 14.2. Источники загрязнения воздуха (Roger, 1965)

Среди *естественных* факторов выделяются:

а) внеземное загрязнение воздуха космической пылью и космическим излучением;

б) земное загрязнение атмосферы при извержении вулканов, выветривании горных пород, пыльных бурях, лесных пожарах, возникающих от ударов молний, выносе морских солей.

Условно разделяют естественное загрязнение атмосферы на континентальное и морское, а также неорганическое и органическое. К источникам органического загрязнения относят аэро-планктон-бактерии, в том числе болезнетворные, споры грибов, пыльцу растений (включая и ядовитую пыльцу амброзии) и т. д.

На долю естественных факторов в конце XX в. приходилось 75% общего загрязнения атмосферы. Остальные 25% возникали в результате деятельности человека.

Искусственное загрязнение атмосферы разделяют на радиоактивное, электромагнитное, шумовое, дисперсное и газообразное, а также по отраслям промышленности и видам технологических процессов.

Главными и наиболее опасными источниками загрязнения атмосферы являются промышленные (рис. 14.3), транспортные и бытовые выбросы. По особенностям строения и характеру влияния на атмосферу загрязнители, как правило, подразделяют на механические и химические.

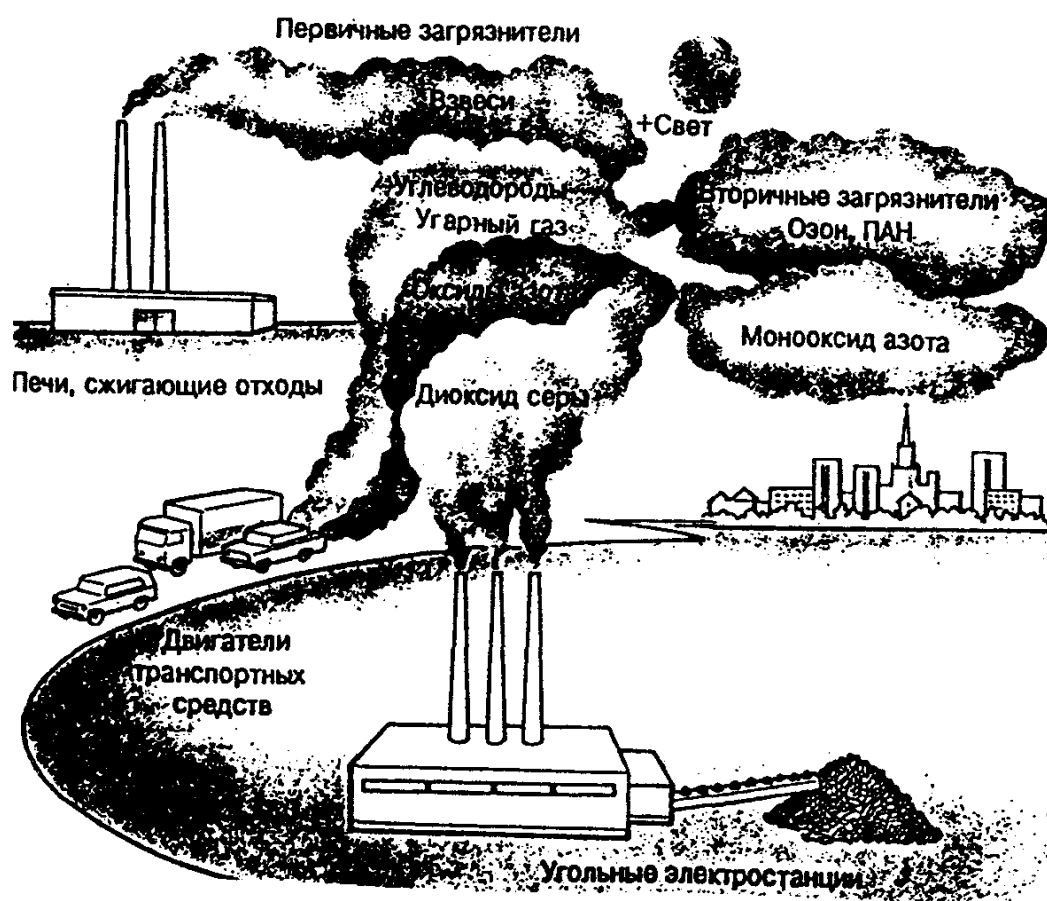


Рис. 14.3. Загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Вследствие деятельности человека в атмосферу поступают углекислый

газ CO_2 и угарный газ CO , диоксид серы SO_2 метан CH_4 , оксиды азота NO_2 , NO и N_2O . При использовании аэрозолей в атмосферу поступают хлорфторуглероды, в результате работы транспорта—углеводороды (бенз(а)пирен и др.).

Наиболее массовые загрязнители, вырабатываемые всеми техногенными источниками в атмосферу Земли, представлены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Загрязнители, выбрасываемые всеми техногенными источниками в атмосферу Земли (90-е гг. XX в.)

Загрязнители	Млн. т/год
Твердые частицы дыма и промышленная пыль	580
Оксиды углерода	360
Летучие углеводороды и другая органика	320
Оксиды серы	160
Оксиды азота	110
Соединения фосфора	18
Сероводород	10
Аммиак	8
Хлор	1
Фтористый водород	1

Вещества, загрязняющие атмосферу, подразделяют также на первичные и вторичные. *Первичные* — это вещества, содержащиеся непосредственно в выбросах предприятий и поступающие с ними от разных источников. *Вторичные* являются продуктами трансформации первичных или вторичного синтеза. Они нередко более опасны по сравнению с первичными веществами.

14.3. Физические и экологические последствия загрязнения атмосферы

Атмосфера Земли постоянно циркулирует: поднимающийся вверх теплый воздух у экватора замещается холодными воздушными потоками, движущимися от полюсов. Направление ветра зависит от величины перемещающего воздушные массы градиента атмосферного давления, а скорость ветра возрастает с увеличением перепада атмосферного давления. Воздушные массы могут перемещаться потоками, параллельными поверхности Земли, а также вертикальными струями, которые возникают под действием тепловых градиентов. Турбулентное перемешивание приземного слоя атмосферы может происходить при взаимодействии с поверхностью почвы или при тепловом расслоении атмосферы. Механические и температурные перемещения наблюдаться могут одновременно. На содержание вредных веществ в атмосфере оказывают влияние их рассеивание турбулентными потоками, действие осадков или их оседание из-за наличия гравитационных сил. Между атмосферным загрязнением и круговоротом главных биогенных элементов отмечается четкая связь (рис. 14.4).

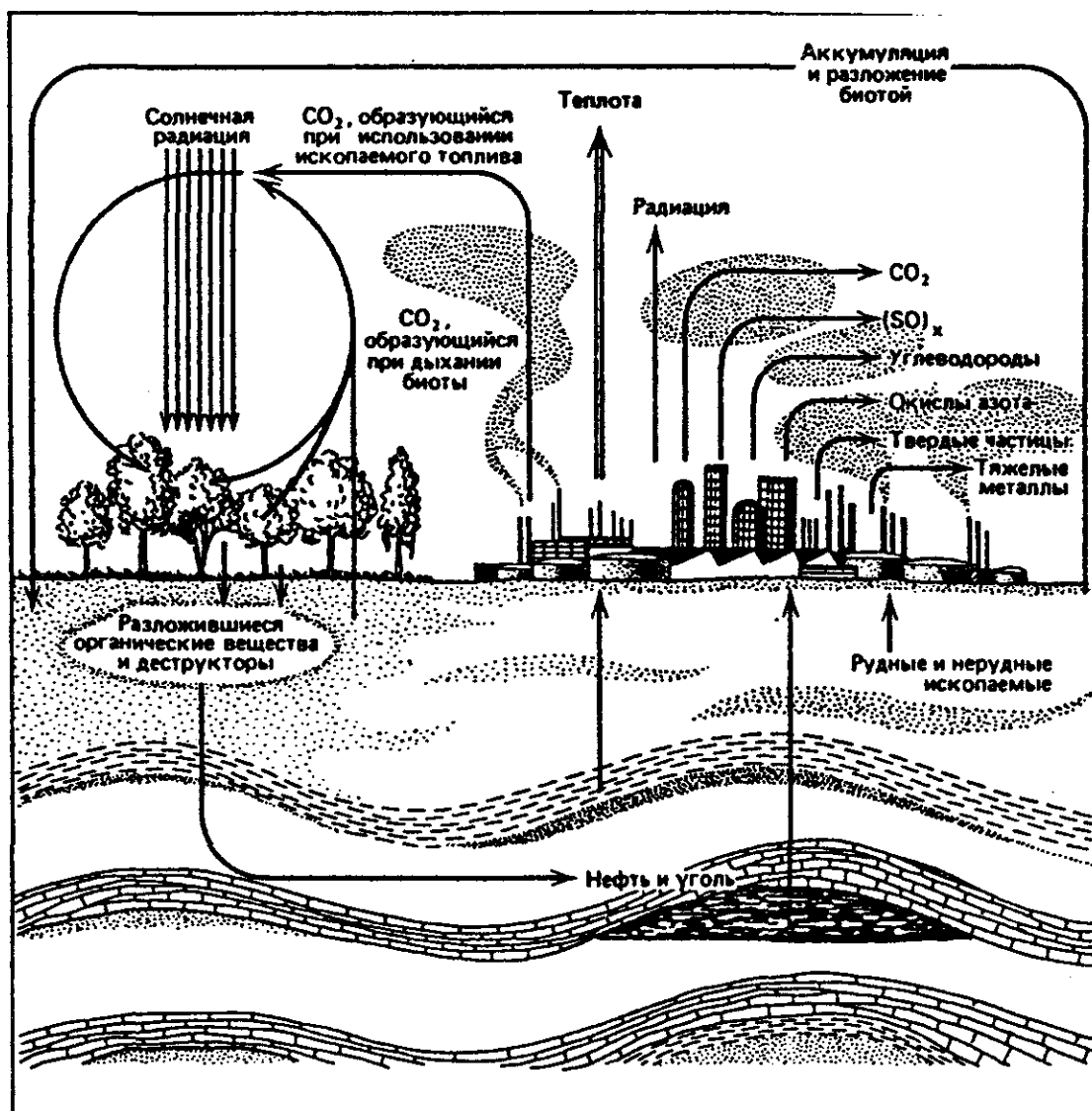


Рис. 14.4. Связь между атмосферным загрязнением и круговоротом главных биогенных элементов (по Ф. Рамаду, 1981)

Здесь четко прослеживается, что сжигание ископаемого топлива (уголь, нефть) играет определяющую роль в загрязнении атмосферы. За счет газов антропогенного происхождения образуются кислотные осадки и смог. Кислотные осадки — это серная и азотная кислоты, образующиеся при растворении в воде диоксидов серы и азота, и выпадающие на поверхность земли вместе с дождем, туманом, снегом или пылью (рис. 14.5).

Попадая в озера, кислотные осадки нередко вызывают гибель рыб или всего животного населения. Они также могут вызывать повреждения листвы, а часто гибель растений, ускорять коррозию металлов и разрушение здания. Кислотные дожди большей частью наблюдаются в районах с развитой промышленностью. Хотя капельки воды и быстро удаляются из атмосферы, они все же распространяются на сотни километров от производящих выбросы тепловых станций, промышленных предприятий и т. д. Среди вредных веществ, содержащихся в воздухе городов, имеется большая группа, обладающая канцерогенной активностью.

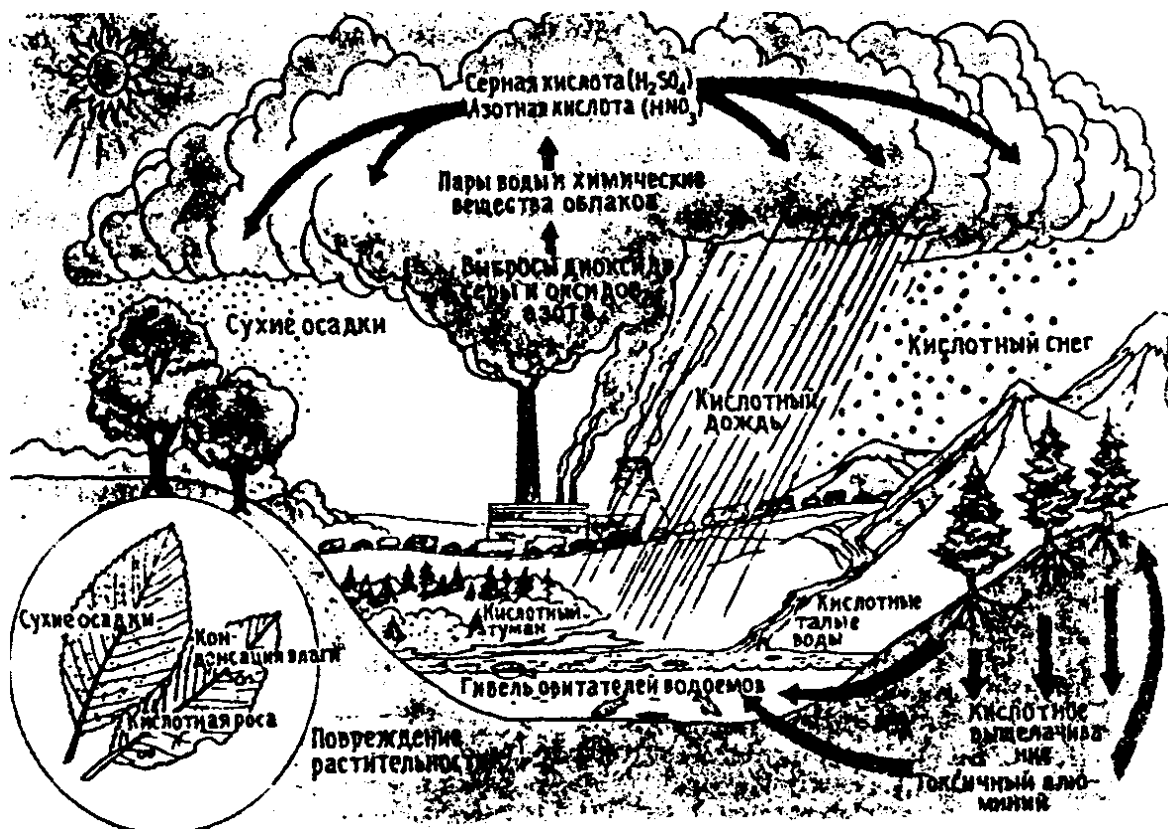


Рис. 14.5. Кислотные осадки (по Б. Небелу, 1993)

Это в первую очередь бенз(а)пирен и другие ароматические углеводороды, поступающие от котельных промышленных предприятий и с выхлопными газами автотранспорта (рис. 14.6).

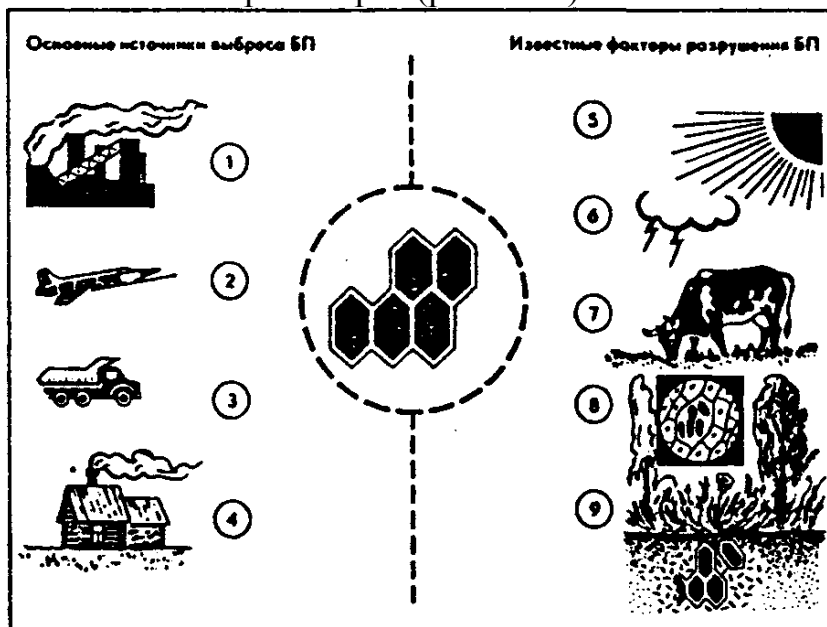


Рис. 14.6. Схема загрязнения среды канцерогенным углеводородом бенз(а)пиреном (по Н. Ф. Реймерсу, 1990):

1 — промышленные предприятия; 2 — авиатранспорт; 3 — автомобильный и рельсовый транспорт; 4 — отопление жилищ; 5 — ультрафиолетовое излучение; 6 — озон; 7 — метаболизм у высших животных; 8 — разрушение растениями; 9 — разрушение почвенными микроорганизмами

Исследования канцерогенных веществ, содержащихся в воздушной среде, показывают, что возникновение раковых болезней у людей происходит, в частности, от постоянного суммирования небольших доз канцерогенов в течение длительного времени. Неблагоприятное влияние на организм человека оказывают соединения свинца, имеющиеся в выхлопных газах автотранспорта. Присутствие свинца в крови человека возрастает с увеличением его содержания в воздухе, что приводит к снижению активности ферментов, участвующих в насыщении крови кислородом, к нарушению обменных процессов.

В атмосферном воздухе, в первую очередь промышленных центров и городов, в результате сложных химических реакций смеси газов (главным образом окислов азота и углеводородов, содержащихся в выхлопных газах автомобилей), протекающих в нижних его слоях под действием солнечного света, образуются различные вещества, ядовитый туман. Такой ядовитый туман получил название «смог». Его возникновению способствуют определенные метеорологические условия: отсутствие ветра и дождя, а также температурная инверсия. Смог крайне вреден для живых организмов. Во время смога ухудшается самочувствие людей, резко увеличивается число легочных и сердечно-сосудистых заболеваний, возникают эпидемии гриппа. Густой ядовитый туман, появляющийся в осенне-зимнее время, получил название *смога лондонского типа*. Его главным компонентом является сернистый газ, вызывающий катар верхних дыхательных путей, бронхит. Более опасный тип смога — *фотохимический, или лос-анджелеский*, наблюдающийся в теплое время года, например в Нью-Йорке, Бостоне, Детройте, Чикаго, Милане, Мадриде. Он возникает в воздухе, загрязненном выбросами автотранспорта, под действием солнечной радиации и в результате фотохимических реакций. Фотохимический смог вызывает раздражение глаз, слизистых оболочек носа и горла, обострение легочных и различных хронических заболеваний, приводит к болезни и гибели домашних животных, растений. Он вызывает коррозию металлов, растрескивание красок, резиновых и синтетических изделий, порчу одежды.

Одним из вредных компонентов смога является и озон (О₃). В крупных городах при образовании смога его естественная концентрация ($1 \cdot 10^{-8}$) повышается в 10 раз и более. Озон здесь начинает оказывать вредное воздействие на легкие и слизистые оболочки человека и на растительность.

С антропогенными изменениями атмосферы связано и разрушение озонового слоя, который является защитным экраном от ультрафиолетового излучения. Особенно быстро процесс разрушения озонового слоя происходит над полюсами планеты, где появились так называемые озоновые дыры. В 1987 г. зарегистрирована расширяющаяся год от года (темпы расширения — 4% в год) озоновая дыра над Антарктикой (выходящая за контуры материка) и менее значительное аналогичное образование в Арктике. Исследованиями в течение 1969—1986 гг. установлено, что наибольшее уменьшение общего количества озона в зоне 53—64° с. ш. наблюдалось в зимние месяцы (рис. 14.7).

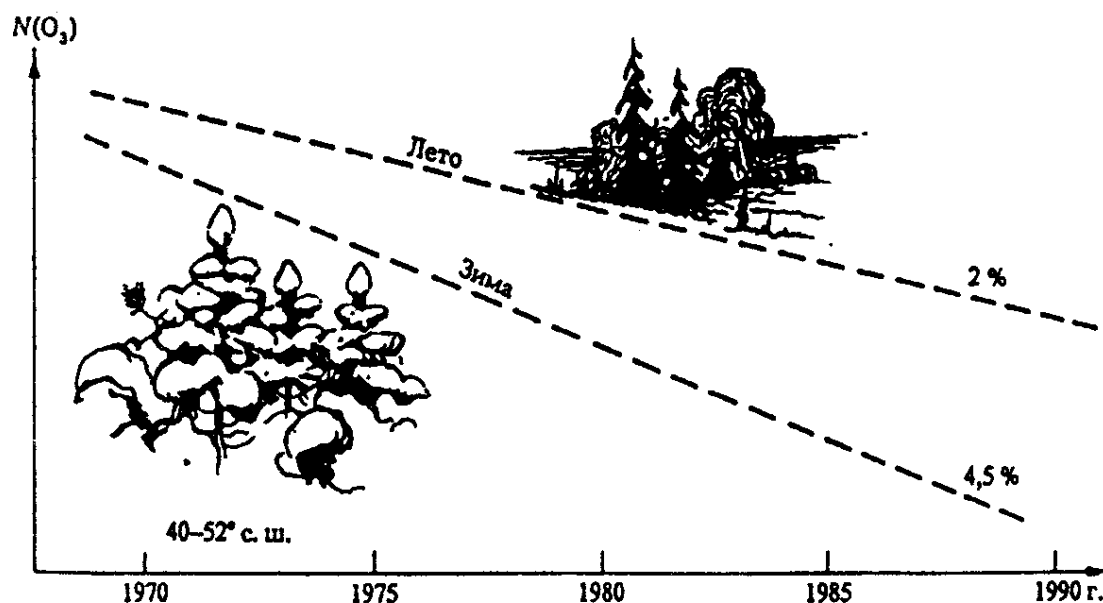


Рис. 14.7. Уменьшение общего количества озона в зимние месяцы 1969—1986 гг. (по А. Д. Данилову, И. Л. Каролу, 1991)

Опасность истощения озонового слоя заключается в том, что может снизиться поглощение губительного для живых организмов ультрафиолетового излучения. Ученые считают, что основной причиной истощения озонового слоя (экрана) является применение людьми хлорфторуглеродов (фреонов), которые широко используются в быту и производстве в виде аэрозолей, дореагентов, пенообразователей, растворителей и т. д. В 1990 г. мировое производство озоноразрушающих веществ составляло более 1300 тыс. т. Хлорфторуглероды (CFC1_3 и CP_2Cl_2), попадая в атмосферу, разлагаются в стратосфере с выделением атомов хлора, которые катализируют превращение озона в кислород. В нижних слоях атмосферы фреоны могут сохраняться в течение десятилетий. Отсюда они поступают в стратосферу, где в настоящее время их содержание ежегодно увеличивается на 5 %. Предполагается, что одной из причин истощения озонового слоя может быть и сведение лесов как продуцентов кислорода на Земле.

Быстрыми темпами растет в атмосфере содержание углекислого газа и метана. Эти газы обуславливают «парниковый эффект» (рис. 14.8).

Они пропускают солнечный свет, но частично задерживают тепловое излучение, испускаемое поверхностью Земли. За последние 100 лет концентрация в атмосфере углекислого газа выросла на 25%, а метана — на 100%. Это сопровождалось глобальным повышением температуры. Так, за 80-е гг. средняя температура воздуха в северном полушарии повысилась по сравнению с концом XIX в. на 0,5—0,6 °C. На Земле, по прогнозам, средняя температура к 2000 году повысится на 1,2 °C, а в ближайшие 50 лет — на 2—5 °C по сравнению с доиндустриальной эпохой.

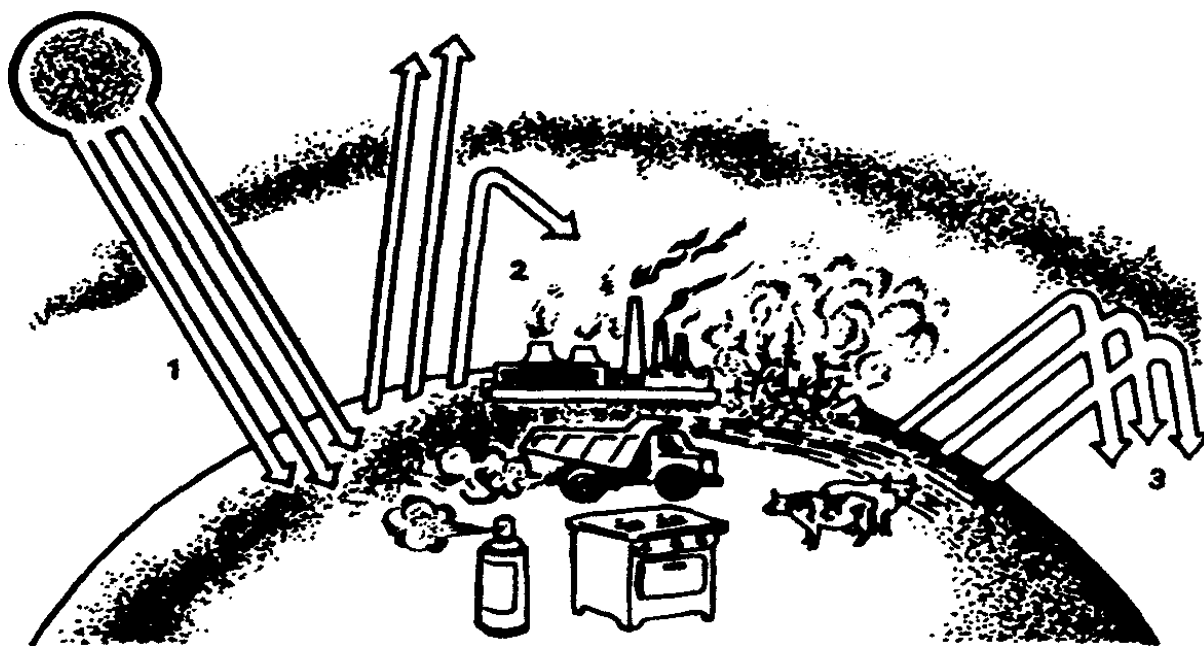


Рис. 14.8. «Парниковый эффект» (по Е. А. Криксунову и др., 1995):
1 — нагревание земной поверхности; 2 — отражение теплового излучения Земли вследствие загрязнения атмосферы

Потепление может привести к интенсивному таянию ледников и повышению на 0,5—1,5 м уровня Мирового океана, при этом окажутся затопленными многие густонаселенные прибрежные районы. Однако при общем увеличении количества осадков в центральных районах материков климат может стать более засушливым. Например, в 80—90-х гг. XX в. в Африке и Северной Америке участились катастрофические засухи, которые связывают с глобальным потеплением. Нужно учитывать и высокую опасность для здоровья людей насыщения воздуха (особенно актуально для крупных, промышленных городов) диоксидом углерода. При высоких концентрациях в атмосферном воздухе СО₂ наступают отравления, первыми симптомами которых являются головные боли, тошнота, чувство слабости. Некоторые люди, страдающие анемиями и сердечно-сосудистыми заболеваниями, обладают повышенной чувствительностью к воздействию СО₂. Установлено, что загрязнение атмосферы оказывает отрицательное воздействие на животных, сельскохозяйственные культуры. Эти вопросы более подробно будут рассмотрены в дальнейшем.

В конце XX в. огромную опасность представляет радиоактивное и химическое загрязнение атмосферы, да и биосферы в целом в результате деятельности человека. Все острее встает проблема складирования и хранения радиоактивных отходов военной промышленности и атомных электростанций, хранения химического оружия. С каждым годом они представляют все большую опасность для окружающей среды.

На примере загрязнения атмосферы видно, что даже слабые воздействия человека могут приводить к крупным неблагоприятным последствиям для природных систем. Нужно учитывать и то, что загрязняющие вещества

переносятся воздушными потоками на большие расстояния, создавая тем самым опасность загрязнения территорий других стран. Так, по оценкам международных организаций, в 90-х гг. XX в. на долю английских выбросов приходилось 14% загрязненности окружающей среды в Швеции, 7% — в ФРГ, 7% — в Норвегии.

Выпадение загрязняющих веществ на территории Российской Федерации за счет трансграничного переноса из других стран (Украина, Беларусь, Польша, Великобритания, Румыния и др.) в 1990 г. составили: соединений серы — 1355,0 ктS, соединений окисленного азота — 596,0 ктN и соединений восстановленного азота—42,2 ктN.

Современное промышленное производство загрязняет атмосферу не только газообразными и твердыми примесями, но и тепловыми выбросами, электромагнитными полями, ультрафиолетовыми, инфракрасными, световыми излучениями и другими физическими факторами. Наиболее распространенным видом физического воздействия на атмосферу в городах и крупных поселках является шум, возникающий при работе транспортных средств, оборудования промышленных и бытовых предприятий, вентиляционных и газотурбинных установок, реактивных самолетов при взлете и посадке. Как уже было отмечено ранее, величину звуковых давлений измеряют и нормируют в децибелах (дБ), рис. 14.9.



Рис. 14.9. Шкала интенсивности шума (в дБ)

Уровень шума в 20—30 дБ практически безвреден для человека, является естественным шумовым фоном. У людей же, живущих и работающих в неблагоприятных акустических условиях (80 дБ и более), имеются признаки изменения функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

В настоящее время уровень электромагнитных полей (ЭМП), созданных человеком и «загрязняющих» атмосферу, в сотни раз превышают средний уровень естественных диапазонов.

Электромагнитные поля оказывают влияние на нервную и эндокринную системы, на репродуктивную функцию, на сердечно-сосудистую систему и обмен веществ. Наиболее высока чувствительность организмов к многократным воздействиям электромагнитных полей.

14.4. Меры по предотвращению загрязнений атмосферного воздуха

Из всего сказанного выше очевидно, какое большое значение приобретают работы по очистке воздуха и его охране. Этими вопросами

занимаются во всех странах с развитой промышленностью, издаются специальные законы, принимаются постановления местными органами власти.

Эффективный путь снижения вредных выбросов в атмосферу — внедрение безотходных и малоотходных производств и технологических процессов, повышение эффективности действующих установок очистки воздуха, внедрение замкнутых воздушных циклов с частичной рециркуляцией воздуха. Промышленные агрегаты, особенно вновь вводимые, должны быть оборудованы пыле- и газоулавливающими средствами. Классификация пылеулавливающих систем основана на принципиальных особенностях процесса очистки (рис. 14.10; 14.11; 14.12; 14.13).

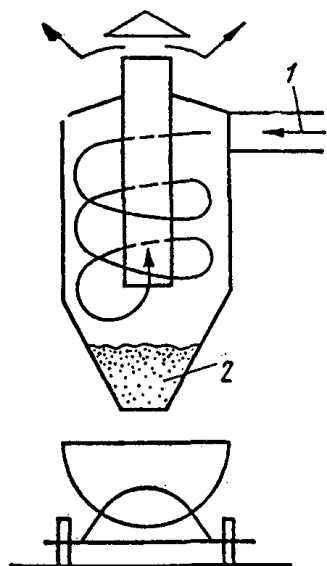


Рис. 14.10. Схема циклона:

1 — загрязненный поток;
2 — уловленная взвесь

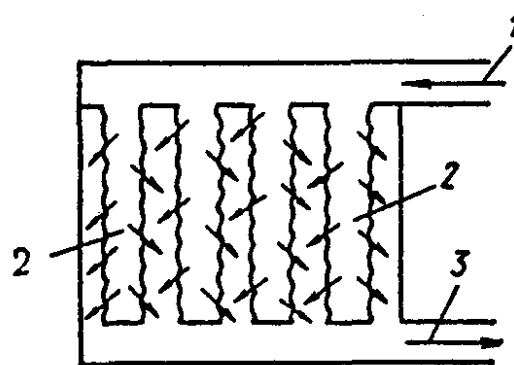


Рис. 14.11. Схема тканевого (матерчатого) фильтра:

1 — загрязненный поток; 2 — рукава из ворсистой ткани; 3 — очищенный поток

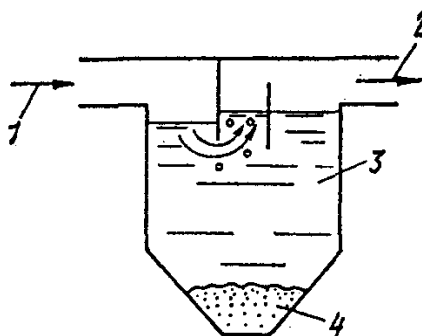


Рис. 14.12. Схема ротоклона:

1 — загрязненный поток;
2 — очищенный поток; 3 —

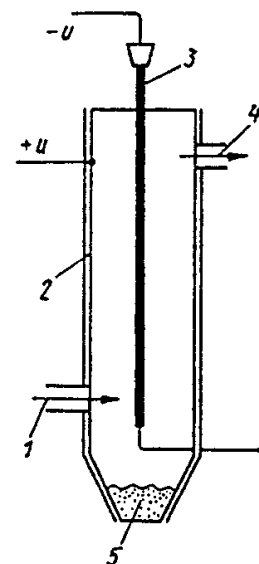


Рис. 14.13. Схема электрического фильтра (дана для одного элемента цилиндрического фильтра)

1 — загрязненный поток; 2 — осадительный (цилиндрический) электрод; 3 — коронирующий электрод; 4 — очищенный поток; 5 — взвесь;
+ u — электрический ток положительного заряда; - u — то же, отрицательного заряда

Применяемое в этих целях оборудование разделяют на четыре группы: сухие и мокрые пылеуловители, тканевые (матерчатые) фильтры и электрофильтры. Выбор того или иного типа оборудования зависит от вида пыли, ее физико-химических свойств, дисперсного состава и общего содержания в воздухе.

От характера протекания физико-химических процессов методы очистки промышленных отходов делят на следующие группы: промывка выбросов растворителями примеси (метод абсорбции, рис. 14.14), промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (метод хемосорбции); поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (метод адсорбции, рис. 14.15); поглощение примесей с применением катализаторов.

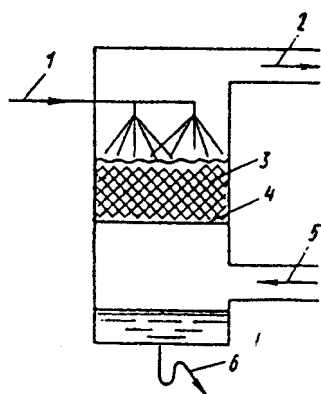


Рис. 14.14. Схема абсорбера

1 — абсорбент; 2 — очищенный поток; 3 — насадка; 4 — сетка; 5 — загрязненный поток; 6 — выброс в канализацию

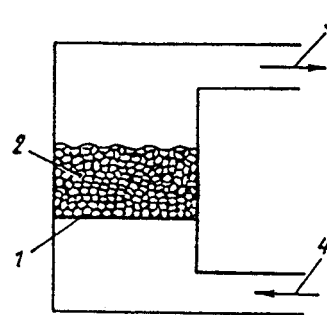


Рис. 14.15. Схема адсорбера

1 — сетка; 2 — адсорбент;
3 — очищенный поток;
4 — загрязненный поток

Более эффективно применять полностью или частично замкнутые

воздушные циклы. Таким образом, загрязненный воздух удаляется от оборудования и из зоны дыхания рабочих. Пройдя через пылеуловители, он частично выбрасывается в атмосферу. Эффективность схем и методов очистки воздуха возрастает, если они являются составной частью технологического оборудования. Улавливание вредных для окружающей среды веществ позволяет сохранить ценные готовые продукты и сырье во многих отраслях промышленности. Так, улавливание серы из отходящих газов Магнитогорского комбината (Челябинская область) обеспечивает санитарную очистку и одновременно дает возможность получить многие тысячи тонн серной кислоты в год по сравнительно дешевой цене. Улавливание цемента позволило отказаться от сооружения нескольких заводов. Подобные примеры можно продолжить.

Ежегодно в мире выпускается свыше 25 млн автомобилей. К 2000 г. численность мирового автомобильного парка достигнет 500 млн единиц, из них около 400 млн легковых. Среди источников загрязнения атмосферного воздуха автомобили занимают первое место. Загрязнение воздуха городов, крупных поселков с интенсивным движением автотранспорта заставляет искать

альтернативу автомобилю с двигателем внутреннего сгорания. Многообещающим является электромобиль на аккумуляторах, хотя здесь много вопросов и нерешенных проблем.

Важным является создание не загрязняющего атмосферу общественного транспорта: это и метрополитен, скоростные железные дороги, транспортные средства на магнитной подушке и т. д.

Считалось, да и сегодня считается, что атмосферный воздух загрязняют промышленные предприятия городов, а жители сельских районов страдают за чужие грехи. Однако это не так. Например, в Курганской области в общем объеме валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу традиционно сельские районы дают без малого половину. Практически в каждом населенном пункте дымит котельная, а их по области около 2 тыс. Большинство из них не имеют газопылеулавливающего оборудования. В райцентрах и населенных пунктах немало предприятий жилищно-коммунального хозяйства, предприятий по переработке сельхозпродукции, древесины, по производству строительных материалов. Как правило, на этих предприятиях используется старое оборудование, идет постоянное загрязнение атмосферного воздуха. Решение указанных проблем является весьма актуальным.

В улучшении воздушной среды городов и поселков большое значение имеют архитектурные и планировочные мероприятия. Структура планировки должна способствовать улучшению микроклимата и защите воздушного бассейна. Необходимо учитывать основные источники загрязнения окружающей среды — промышленные объекты и установки, автомобильные дороги, аэропорты и аэродромы, железные дороги, телецентры, ретрансляторы, радиостанции, электростанции, ЛЭП, дискомфортные природно-климатические условия, организацию очистки и утилизацию отходов и т. д. В зависимости от вредности выбрасываемых в атмосферу веществ и степени их очистки в ходе технологического процесса промышленные предприятия делятся на пять классов. Для предприятий первого класса устанавливается санитарно-защитная зона шириной 1000 м, второго — 500, третьего — 300, четвертого — 100 и пятого — 50 м. В зоне допускается расположение пожарных депо, бань, прачечных, гаражей, складов, административно-служебных зданий, торговых помещений и т. д., но не жилых домов. Территория этих зон обязательно должна быть озеленена. Роль зеленых насаждений и лесопарковых массивов в городах многогранна. Зеленые насаждения являются биофильтром, отфильтровывают вредные примеси, радиоактивные частицы, поглощают шум. Такова роль зеленых насаждений Москвы (рис. 14.16).



Рис. 14.16. Зеленые насаждения Москвы

В целом защита атмосферного воздуха от загрязнений должна проводиться не только в региональном или местном масштабе, а в первую очередь в глобальном, поскольку воздух не знает никаких границ и находится в вечном движении.

15. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОСФЕРУ

15.1. Основные сведения о гидросфере

Гидросфера — это совокупность всех вод Земли: материковых (глубинных, почвенных, поверхностных), океанических, атмосферных. Как особая водная оболочка Земли, здесь рассматриваются лишь воды, находящиеся на поверхности планеты — материковые и океанические.

Вследствие высокой подвижности воды проникают повсеместно в различные природные образования. Они находятся в виде паров и облаков в земной атмосфере, формируют океаны и моря, существуют в замороженном состоянии в высокогорных районах континентов и в виде мощных ледяных панцирей покрывают полярные участки суши. Атмосферные осадки проникают в толщи осадочных пород, образуя подземные воды. Вода способна растворять в себе многие вещества, в связи с этим воды гидросферы можно рассматривать в качестве естественных растворов разной степени концентрации.

Гидросфера находится в тесной зависимости с литосферой (подземные воды), атмосферой (парообразная влага) и живым веществом биосферы, в которое она входит в качестве обязательного компонента (табл. 15.1).

Таблица 15.1

**Распределение водных масс в гидросфере Земли
(по М. И. Львовичу, 1986)**

Части гидросферы	Объем (в тыс. км ³)	% от общего объема
Мировой океан	1370323	94,2
Подземные воды, всего	60000	4,12
в т. ч. зоны активного водообмена	4000	0,27
Ледники	24000	1,65
Озера	230	0,016
Почвенная влага	75	0,005
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Вся гидросфера	1454643, 2	100,0

Подавляющая часть массы природных вод (94,2%) — это воды Мирового океана, представляющего собой уникальную природную систему. Здесь происходит грандиозный процесс обмена, трансформации энергии и вещества нашей планеты (рис. 15.1).

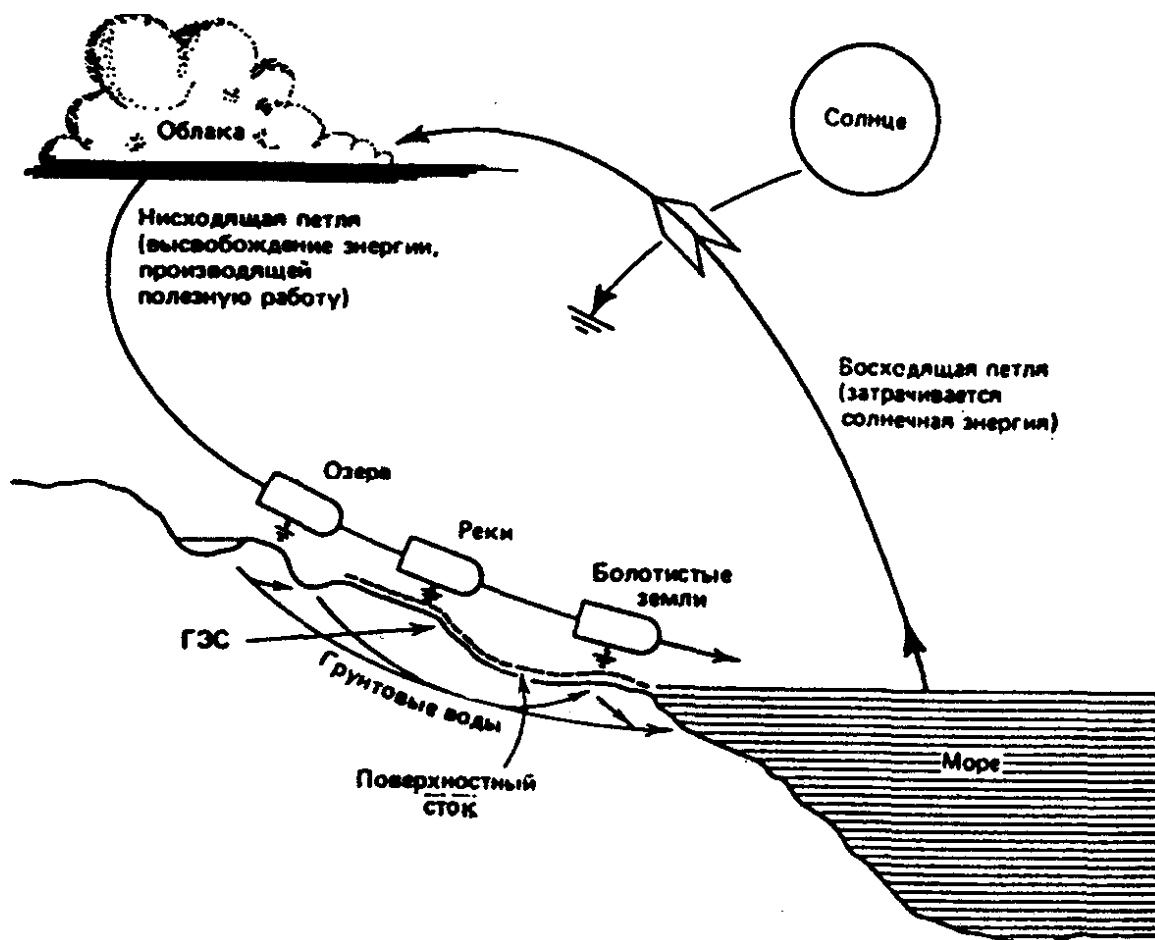


Рис. 15.1. Энергетика гидрологического цикла (по Ю. Одуму, 1986)

Примечание: энергетика гидрологического цикла представлена в виде двух путей: верхний приводится в движение солнечной энергией, а нижний отдает энергию рекам, озерам, заболоченным землям и выполняет работу, полезную для человека, например ГЭС. Поверхностный сток пополняет резервуары грунтовых вод и сам пополняется от них

Различные физические, химические и биологические процессы объединяются, образуя единую природу океана — древнейшую область биосферы Земли. Со времени образования океана протекало изменение его природы под воздействием различных природных процессов (солнечного излучения, геологических и геохимических факторов) и, что весьма важно, биологических процессов. Биологические процессы проявлялись и проявляются в развитии живых организмов, в усвоении солнечной энергии и накоплении свободной энергии в самих телах организмов, в биологической продуктивности и осадкообразовании на всей площади дна Мирового океана, в формировании различного рода органогенных илов.

Наиболее чистые атмосферные воды содержат 10—50 мг/л растворенных веществ. Морская (океаническая) вода представляет собой раствор, содержащий в среднем в 1 кг 35 г вещества. Можно считать, что в морской воде присутствуют все химические элементы таблицы Менделеева. Однако преобладающая часть растворенных веществ сложена немногими химическими элементами: натрий, магний, кальций, хлор, углерод, сера. Они находятся в морской воде в виде ионов различного типа. Например, можно выделить

катионы: Na^{1+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} и анионы Cl^{1-} , SO_4^{2-} ; HCO_3^{1-} ; CO_3^{2-}

Другие химические элементы присутствуют в морской воде в более низких концентрациях, чем главные ионы. Некоторые элементы, несмотря на относительно низкую концентрацию, играют важную роль в химических процессах моря и в морских организмах. Здесь ведущая роль принадлежит азоту, фосфору, кремнию, усваивающимся живыми организмами, а их концентрация в морской воде контролируется ростом и размножением морских животных и растений.

15.2. Роль воды в природе и жизни человека

Когда мы хотим подчеркнуть ценность чего-либо, мы обычно сравниваем с золотом. Белым золотом называют хлопок, зеленым — лес, черным — нефть. Величайшее богатство земли — хлеб — получают из золотого колоса. С чем же сравнить ценность обычной, простой, не говоря уже минеральной, лечебной воды. Вода — бесценна! По словам академика В. И. Вернадского, «вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов».

Откуда появилась вода на Земле? До сих пор на этот, казалось бы, простой вопрос нет однозначного ответа. За миллиарды лет существования планеты ее океаны вполне могли бы наполниться водой от вулканических извержений, доставляющих и сейчас на поверхность из глубин планеты миллионы тонн воды ежегодно. Но если подсчитать, сколько за это время упало на Землю метеоритов, содержащих воду, и сколько воды образовал на подступах к планете поток водородных ядер — протонов, посылаемых Солнцем, а он и сейчас дает по 1,5 тыс. т воды ежегодно, то реальным окажется и космический источник. Существует гипотеза, согласно которой вода пронизывает всю нашу планету, до самых далеких ее глубин, где она активно перемещается, используя фазовые переходы и способность растворять. Она образует единую дренажную оболочку Земли, с которой непосредственно связаны месторождения многих полезных ископаемых, в особенности нефти и газа.

Химическая формула воды — H_2O — поражает своей простотой. Однако кажущаяся столь простой вода по своей структуре и свойствам — вещество совершенно уникальное.

Вода является одним из самых сложных веществ, как с физической, так и химической точек зрения. Вода относится к веществам, которые наиболее трудно получить в чистом виде. Чистая вода всегда является смесью легкой воды (H_2O) и очень малых количеств тяжелой и сверхтяжелой воды.

Вода — это вещество, физические константы которого отличаются наибольшим количеством аномалий.

1. При нагревании от 0 до 4°C объем воды не увеличивается, а уменьшается, и максимальная плотность достигается не в точке замерзания (0°C), а при 4°C.

2. При замерзании вода расширяется, а не сжимается, как все другие тела, плотность ее уменьшается.

3. Температура замерзания воды с увеличением давления понижается, а не повышается.

4. Удельная теплоемкость воды чрезвычайно велика по сравнению с удельной теплоемкостью других веществ.

5. Вследствие высокой диэлектрической постоянной вода обладает большей растворяющей и диссоциирующей способностью в сравнении с другими жидкостями.

6. У воды самое большое поверхностное натяжение из всех жидкостей: $75 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

Одна из причин аномалии — в особенностях строения и способности молекул воды к сильному взаимодействию. Благодаря аномалии воды в конечном счете обеспечивается жизнь на Земле. Вода, как известно, может находиться в жидком, твердом и газообразном состояниях. Она остается жидкостью в температурных интервалах, наиболее подходящих для жизненных процессов. Для огромной массы организмов вода является средой их жизни и эволюции. В определенное время года жидкая вода может замерзнуть и покрыться льдом. При замерзании при 0°C вода превращается в лед, при этом происходит расширение объема на 10%. Замерзание идет сверху вниз, лед легче воды и плавает на поверхности. Эта особенность имеет большое значение для жизни обитающих в водоемах (водных системах) организмов. Если бы лед был тяжелее воды, водоемы промерзли бы до дна и жизнь в них замирала.

Высокая удельная теплоемкость, медленное нагревание и охлаждение наряду с другими факторами определяют годовые, суточные и даже часовые колебания температуры океанов и озер. Эти колебания заметно отличаются от изменений температуры на суше. Указанное свойство воды определяет различие в температурном режиме почв, в конечном итоге оказывает существенное влияние на жизнь водных и почвенных организмов. Жизнь в воде многообразнее, чем на суше.

Природные воды находятся в сложных обратимых взаимоотношениях с организмами, горными породами, атмосферой. Происходящий в природе круговорот самоочищающейся воды — вечное движение, обеспечивающее жизнь на Земле, — оценивают в 483 000 км³/год. Присутствующий в атмосфере водяной пар играет роль фильтра для солнечной радиации, а вода на земной поверхности служит своего рода мощной буферной системой, смягчающей действие экстремальных температур.

Вода является главным фактором, определяющим климат на поверхности Земли.

Главная роль воды состоит в том, что она является средой и источником водорода для жизненных процессов. Практически все органические вещества биосферы представляют собой продукт фотосинтеза, при котором растения используют световую энергию для соединения двуокиси углерода с водой. Без воды, как известно, фотосинтез не может происходить. Процесс, которому обязана вся жизнь нашей планеты. Вода — единственный источник кислорода,

выделяемый в атмосферу при фотосинтезе. Вода необходима для биохимических и биофизических процессов, обеспечивающих возможность жизни на Земле. Образно говоря, в капле воды заключена жизнь (рис. 15.2).

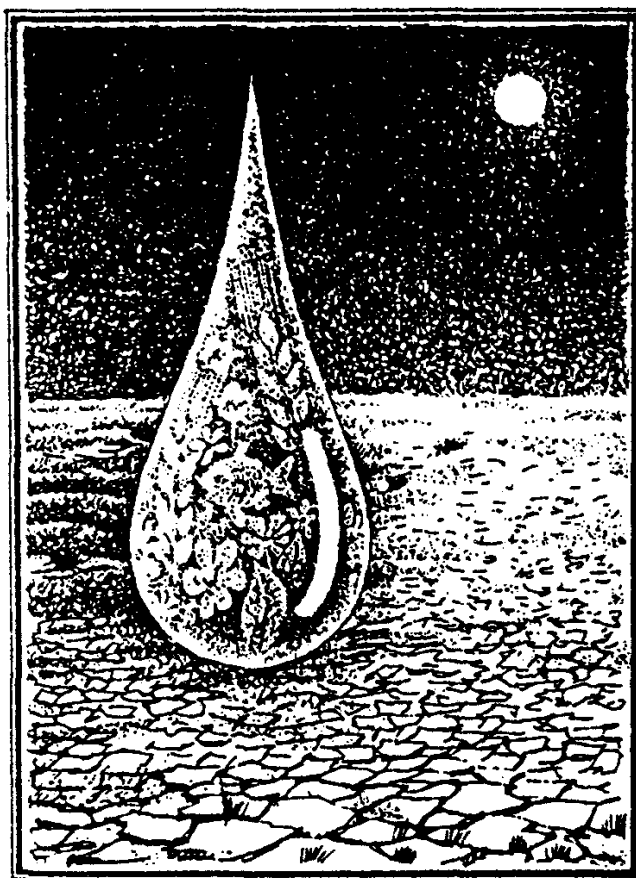


Рис. 15.2. В капле воды заключена жизнь

Вода составляет 89— 90% массы растений и 75% массы животных. В составе человеческого тела воды 65%. Вода служит постоянным участником интенсивных биохимических процессов, происходящих в человеческом организме. Ни один жизненный процесс не совершается без нее. Нарушение водного баланса ведет к серьезным сдвигам в организме человека. При утрате 6—8% влаги от массы тела человек впадает в полубморочное состояние, при потере 12% и выше процентов влаги наступает смерть. Сколько же человеческому организму нужно воды?

Ученые считают, что в среднем человеку нужно 2,5 литра воды в сутки, при этом один литр приходится на питьевую воду. Однако при определенных условиях потребность в воде возрастает до 4—5 л, а в условиях жаркого климата при низкой влажности воздуха достигает 6 л и более. Человек может прожить без пищи пять-шесть недель, без воды — пять дней. Здесь уместно привести слова Дж. Байрона: «Не испытав страданий жажды, нельзя постичь, как много значит для людей вода».

Главным потребителем воды на Земле является человечество и его деятельность. И не случайно все великие цивилизации древности возникали и

развивались вблизи воды, в больших речных долинах. Не существовало ни одной великой цивилизации в местности, лишенной воды.

Подводя итог вышесказанному, следует еще раз подчеркнуть, что вода — хранитель и распределитель на нашей планете солнечной энергии, главный творец климата, ежедневной погоды, аккумулятор тепла и, что особенно важно, необходимейшее условие жизни на планете. И нет на Земле ничего, к чему надо было бы относиться с большим вниманием и осторожностью, чем к столь привычной для нас воде. По образному выражению академика А. Л. Карпинского, «вода — это живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было».

15.3. Запасы пресной воды

Из общего количества воды на Земле столь нужная для человечества пресная вода составляет немногим более 2% общего объема гидросферы, или примерно 28,25 млн км³ (табл. 15.2).

Таблица 15.2

Пресные воды гидросферы (по М. И. Львовичу, 1974)

Части гидросферы	Объем пресной воды, км ³	% от данной части гидросферы	% от общего объема пресной воды
Ледники	24000000	100	85
Подземные воды	4000000	6,7	14
Озера и водохранилища	155000	55	0,6
Почвенная влага	83000	98	0,3
Пары атмосферы	14000	100	0,06
Пары атмосферы	1200	100	0,004
Речные воды	28253200	.-	100
Итого			

Нужно учесть, что основная часть пресных вод (около 70%) заморожена в полярных льдах, вечной мерзлоте, на горных вершинах. Воды в реках и озерах составляют лишь 3% суши, или 0,016% общего объема гидросферы. Таким образом, воды, пригодные для всех видов использования, составляют ничтожную часть общих запасов воды на Земле. Проблема усложняется и тем, что распределение пресной воды по земному шару крайне неравномерно. В Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% речных вод.

Россия по ресурсам поверхностных вод занимает ведущее место в мире. Только в уникальном озере Байкал сосредоточено около 1/5 мировых запасов пресной воды и более 4/5 запасов России. При общем объеме 23 тыс. км³ в озере ежегодно воспроизводится около 60 км³ редкой по чистоте природной воды.

Среднегодовой суммарный сток рек Российской Федерации в 90-х гг. XX в. составляет 4270 км³ в год, в том числе из сопредельных территорий в Россию

поступает 230 км³ в год.

Потенциальные эксплуатационные ресурсы подземных вод в России около 230 км³ в год.

В целом в России на одного жителя приходится 31,9 тыс. м³ пресной воды в год. Однако распределение пресной воды, в первую очередь речного стока, по территории крайне неравномерно и не соответствует численности населения и размещению промышленных предприятий (табл. 15.3).

Таблица 15.3

Распределение речного стока по некоторым экономическим районам России (по Н. Ф. Винокуровой и др., 1994)

Районы	Водообеспеченность общим стоком, тыс. м ³	
	на 1 км ²	на одного жителя
Российская Федерация в целом	248	31,9
Центральный	240	4,2
Волго-Вятский	610	11,4
Центрально-Черноземный	130	2,8
Поволжский	410	10,7
Северо-Кавказский	200	5,1
Уральский	169	7,6
Западно-Сибирский	228	45,8
Восточно-Сибирский	270	151,6
Дальневосточный	280	307,5

90% общего годового объема речного стока приходится на бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов. На бассейны Каспийского и Азовского морей, где проживает свыше 80% населения России и сосредоточен ее основной промышленный и сельскохозяйственный потенциал, приходится менее 8% общего годового объема речного стока. Водообеспеченность на 1 км² территории колеблется от 130 тыс. м³ в Центрально-Черноземном районе до 610 тыс. м³ — в Волго-Вятском, а на одного жителя — от 2,8 тыс. км³ в Центрально-Черноземном до 307,5 тыс. км³ в Дальневосточном. Недостаточно обеспечены собственными водными ресурсами Ростовская, Астраханская, Липецкая, Воронежская, Белгородская, Курганская области, республика Калмыкия и некоторые другие территории.

В Курганской области в среднем на одного человека приходится в год 1,15 тыс. м³ водных ресурсов, что в 6,6 раза меньше, чем по Уральскому региону, и в 27,7 раза меньше, чем в целом в Российской Федерации.

15.4. Использование водных ресурсов

Мы ошибочно полагали, что в распоряжении человечества находятся неисчерпаемые запасы пресной воды и что они достаточны для всех нужд. Следует повторить еще раз, что это было глубоким заблуждением. Человечеству не угрожает недостаток воды. Ему грозит нечто худшее —

недостаток чистой воды.

Проблема недостатка пресной воды возникла по следующим основным причинам:

1. Интенсивное увеличение потребностей в воде в связи с быстрым ростом народонаселения планеты и развитием отраслей деятельности, требующих огромных затрат водных ресурсов.

2. Потери пресной воды вследствие сокращения водоносности рек и других причин.

3. Загрязнение водоемов промышленными и бытовыми стоками.

Потребности же в чистой, пресной воде с каждым годом растут. Достаточно отметить, что на производство 1 т стали расходуется 250 м^3 , меди — 500 м^3 , целлюлозы — 1500 м^3 воды. Крупнейшим водопотребителем является сельское хозяйство. Для получения 1 т пшеницы требуется 1500 м^3 воды, а 1 т хлопка — 10000 м^3 . За вегетационный период на 1 га кукурузы расходуется 3000 м^3 , капусты — 8000 м^3 , риса — $12\,000\text{--}20\,000 \text{ м}^3$ воды.

Распределение и использование водных ресурсов России в 90-х гг. XX в. по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) представлено на рис. 15.3.



Рис. 15.3. Распределение и использование водных ресурсов России (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Расход воды на промышленные нужды составлял 40%, сельское хозяйство — 24%, бытовые расходы — 17%. Суммарный объем забора свежей воды, например, в 1991 г., равнялся 3% сред-немноголетнего стока. Однако по ряду бассейнов рек (Кубань, Дон, Терек, Урал, Исеть, Миасс, Тобол и др.) величина водозабора достигает 50% и более, что превышает экологически

допустимый отбор воды.

15.5. Источники загрязнения воды

Источник, вносящий в поверхностные или подземные воды различные вредные вещества, микроорганизмы или тепло, называется источником загрязнения, вещество, нарушающее нормы качества воды, —загрязняющим. Природные воды могут быть загрязнены самыми различными примесями, которые разделяют с учетом их биологических и физико-химических свойств на группы. К *первой группе* относятся вещества, растворяющиеся в воде и находящиеся там в молекулярном или ионном состоянии. В природной воде могут присутствовать в растворенном виде различные газы (кислород, азот, диоксид углерода, сернистый газ и др.), а также растворимые соли (натрия, калия, кальция, аммония, алюминия, железа, магния, марганца и др.). Можно установить их наличие с помощью химического анализа, потому что растворенные примеси не задерживаются ни песчаными, ни бумажными фильтрами. *Вторая группа* примесей — те, что образуют с водой коллоидные системы и взвеси. Коллоидные системы образуются из практически нерастворимых веществ. Они задерживаются мембранами — тонкими пленками из коллодия или бычьего пузыря. В коллоидном состоянии могут находиться вещества минерального и органического происхождения. При длительном отстаивании частицы песка, глины, образующие в воде взвеси, способны осаждаться.

Вода может иметь *загрязнения биологического характера*: бактерии, вирусы, водоросли, простейшие, черви и т. д. Бактерии образуют устойчивые взвеси, а водоросли — целые «подводные луга», на дне водоемов может быть много червей.

В 90-х гг. XX в. антропогенное загрязнение природных вод стало носить глобальный характер и существенно сократило доступные эксплуатационные ресурсы пресной воды на Земле.

Основными *источниками загрязнения* являются промышленные и коммунальные канализационные стоки, смыв с полей части почвы, содержащей различные агрохимикаты, дренажные воды систем орошения, стоки животноводческих ферм, попадание в водоемы с осадками и ливневыми стоками аэрогенных загрязнений (рис. 15.4).

Годовой объем промышленных коммунально-бытовых и сельскохозяйственных стоков в мире достиг 6,7%, или около 2,5 тыс. км естественного речного стока на планете, а по наличию примесей в воде практически сравнялся с ним. Антропогенные загрязнения воды по сравнению с природными водами (растворы и взвеси) более опасны и во много раз сильнее снижают ее качество.

Среди загрязнителей воды *наибольшую опасность* представляют фенолы, нефть и нефтепродукты, соли тяжелых металлов, радионуклиды, пестициды и другие органические яды, биогенная органика, насыщенная бактериями, минеральные удобрения и т. д. Общая масса основных антропогенных

загрязнителей гидросферы достигла 15 млрд т в год. Большая часть этих загрязнителей приходится на реки, где средняя их концентрация достигла 400 мг/л.



Рис. 15.4. Сброс отходов производства в водоем
(по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Наибольшая нагрузка из крупных речных бассейнов как по водопотреблению, так и по загрязнению приходится на Волгу, Днепр, Дунай и Рейн в Европе; Урал, Миасс, Исеть, Тобол на Урале; Ганг, Хуанхэ и Янцзы в Азии; реки Св. Лаврентия, Колорадо и Миссисипи в Америке.

Объем хозяйственных стоков в реки европейской части России, Белоруссии, Украины и Средней Азии увеличился в 5 раз. В России в 1991 г. со сточными водами было сброшено в водоемы (в тыс. т): 1200— взвешенных веществ, 190— аммонийного азота, 58 - фосфора, 50 - железа, 30 - нефтепродуктов, 11 — СПАВ, 2,1 — цинка, 0,8 — меди, 0,3 — фенолов и т. д.

Все большая опасность загрязнения грозит и уникальному озеру Байкал. В 1990 г. объем хозяйственных стоков составил

Мнения pH водной среды в результате загрязнения оказывает отрицательное влияние на организмы. У пресноводных озер и рек pH воды обычно 6-7, организмы адаптированы именно к этому уровню. Изменение реакции воды всего на одну единицу pH по сравнению с оптимумом приводит в большинстве случаев к стрессу, а нередко и к гибели организмов. Подкисление озер и рек влияет и на сухопутных животных, так как многие птицы и звери входят в состав пищевых цепей, начинающихся в водных экосистемах.

Сброс канализационных стоков, особенно неочищенных или недостаточно очищенных, оказывает отрицательное влияние на круговорот органического вещества в водоеме, грозит опасностью инфекционных

заболеваний, в первую очередь человека (рис. 15.5).

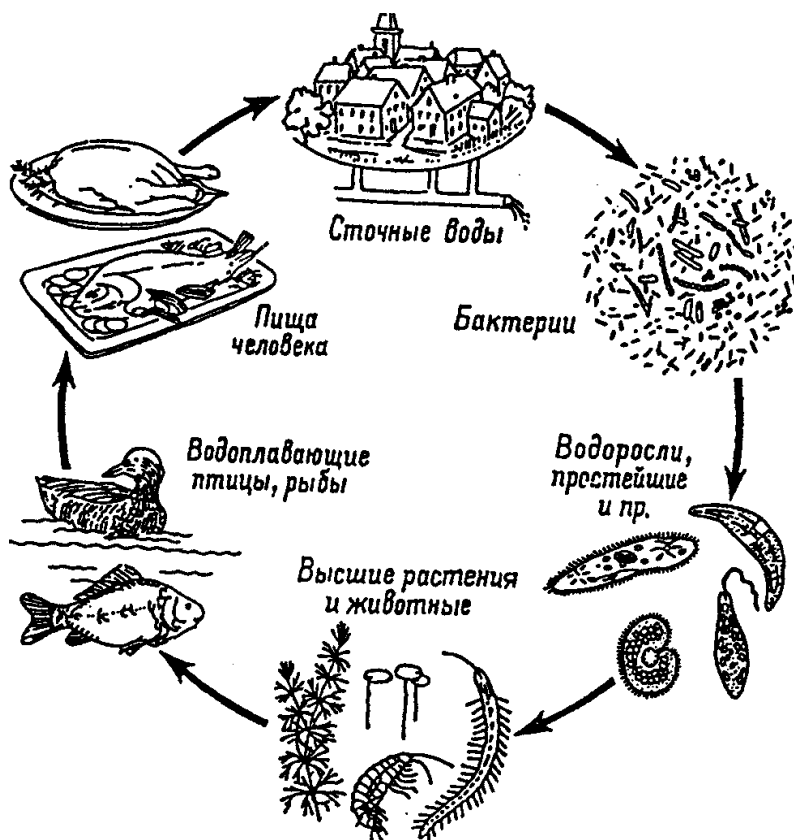


Рис. 15.5. Антропогенное воздействие на круговорот органического вещества в водоеме (по Л. Бауэру, Х. Вайничке, 1971)

Биогены, поступающие в водоемы со сточными водами и смываемыми с полей удобрениями, стимулируют рост фитопланктона, водорослей. Данный процесс называют *эвтрофикацией* (рис. 15.6).

Водоросли окрашивают воду в различные цвета и поэтому данный процесс называют и «цветением» водоемов. Под влиянием водорослей изменяется вкус воды, приобретает неприятный запах. В водоеме при отмирании водорослей развиваются гнилостные процессы. Бактерии, окисляющие органические вещества водорослей, потребляют кислород, создавая тем самым его дефицит в водоеме. Вода начинает гнить, испускать аммиачное и метановое зловоние, на дне скапливаются черные липкие сероводородные отложения. В процессе разложения отмирающие водоросли выделяют также фенол, индол и другие ядовитые вещества. От недостатка кислорода, пищи и убежищ гибнут рыба, моллюски, ракообразные. Вода в таких водоемах становится непригодна для питья и даже для купания.

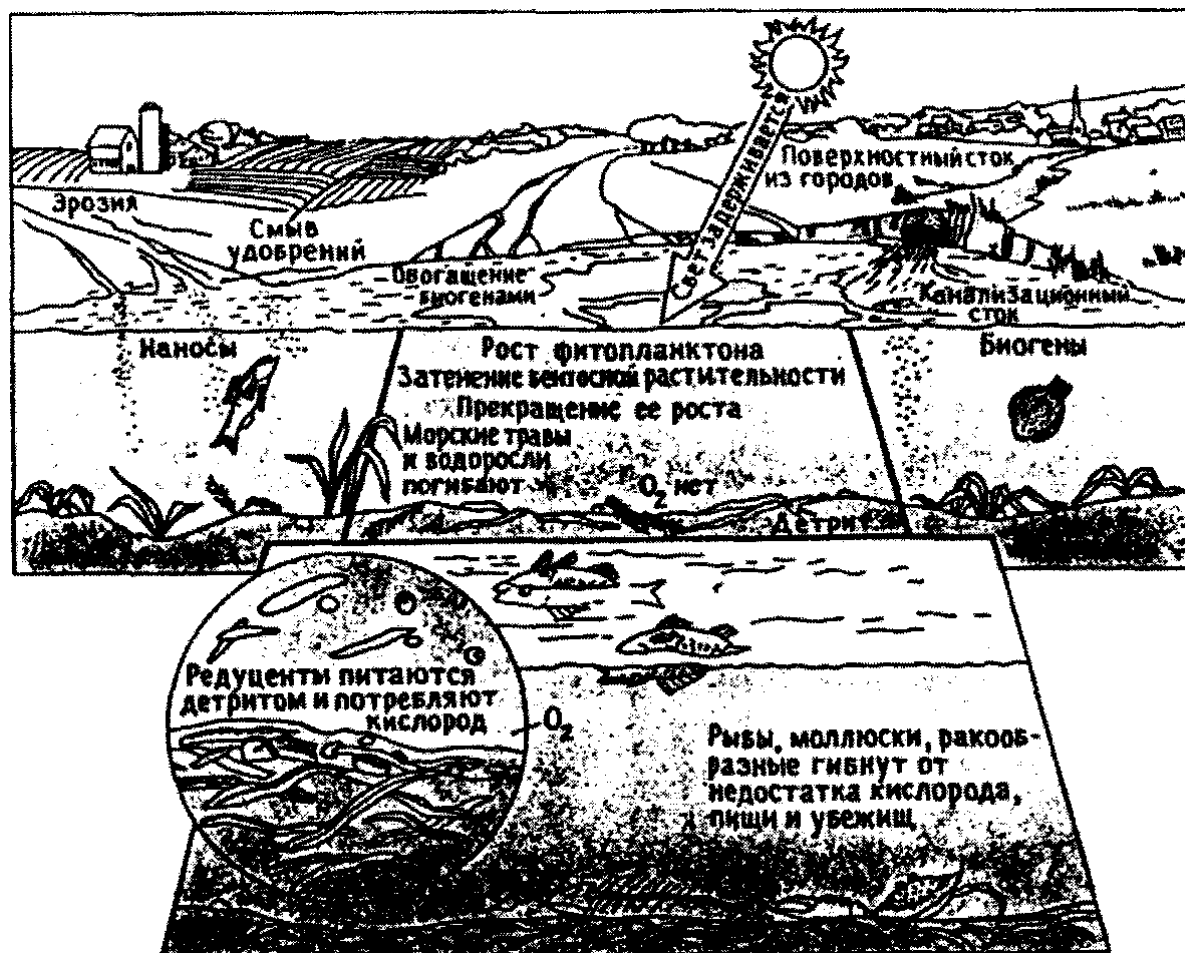


Рис. 15.6. Процессы эвтрофикации (по Б. Небелу, 1993)

Ртуть давно известна как яд. Главными симптомами заболевания являются сужение поля зрения и расстройство координации движений. В легких случаях отравление у людей вызывает бессоницу, неспособность воспринимать критику, страхи, головную боль, депрессию и неадекватные эмоциональные реакции. Ртуть поступает в природные воды из многих источников (рис. 15.7).

Во время дождя ртуть вымывается из воздуха, куда она попадает при сгорании ископаемого топлива, дождевая вода смывает в водоемы, содержащие ртуть пестициды, попадает с бытовыми и промышленными сточными водами, а также в результате утечек со свалок, куда выбрасываются отработанные элементы питания, переключатели и другое оборудование. Далее ртуть, попавшая в озеро много лет назад, накапливается в слоях донного ила и грязи, где она медленно превращается бактериями в ядовитую метиловую ртуть и затем включается в пищевые цепи.

Нужно учитывать, что при попадании соединений ртути в водные экосистемы происходит, во-первых, ее *трансформация*, во-вторых, *биологическое накопление*, например в рыбе и моллюсках до уровней во много раз выше, чем в воде озера.

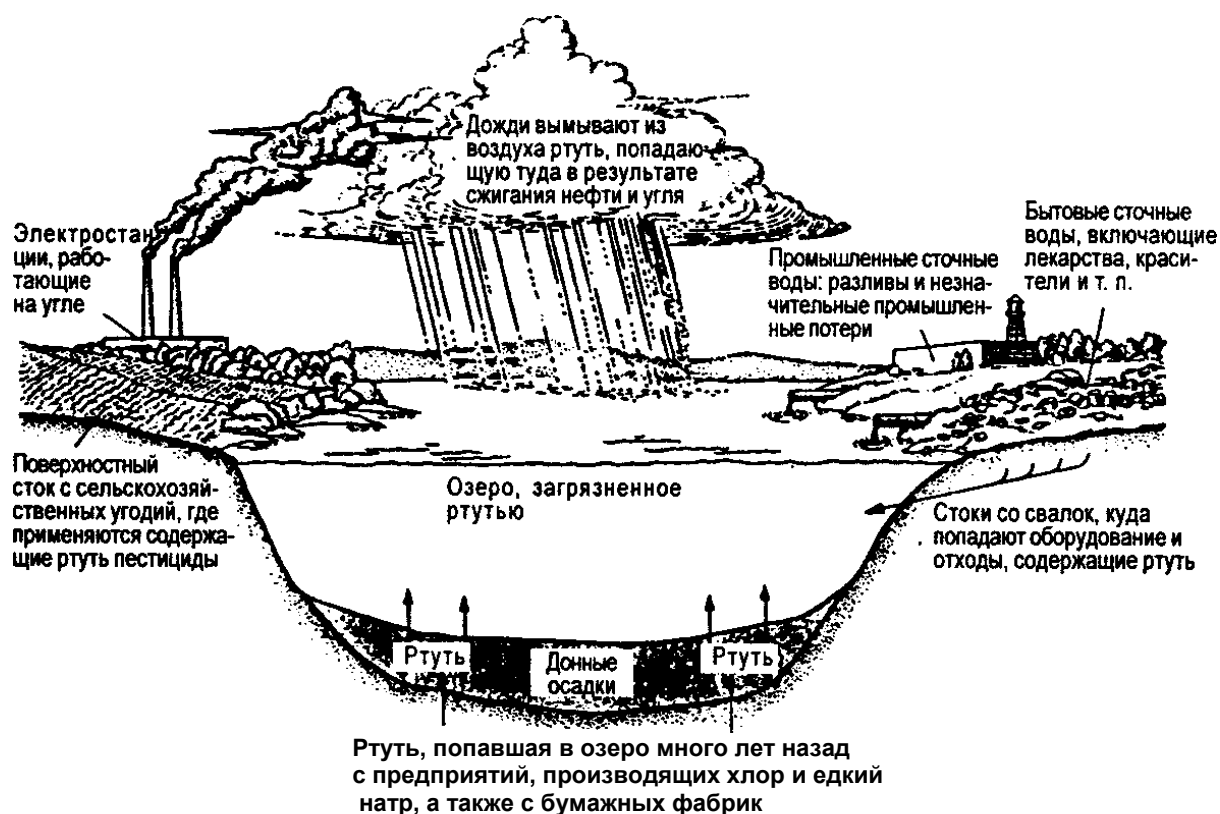


Рис. 15.7. Загрязнение озера ртутью (по П. Ревелль, Ч. Ревелль, 1995)

Возможность этих двух процессов — трансформации веществ в окружающей среде и избирательного накопления их живыми организмами — всегда должна учитываться при решении вопроса об опасности того или иного химического загрязнения.

К одному из видов загрязнения природных вод относится и *тепловое загрязнение*. Промышленные предприятия, электростанции нередко сбрасывают в водоемы (водохранилища) подогретую воду, приводящую к повышению в них температуры. В водоемах с повышением температуры уменьшается содержание кислорода, увеличивается токсичность загрязняющих воду примесей, нарушается биологическое равновесие, происходит смена видового состава организмов, например, водорослей (рис. 15.8).

С повышением температуры в загрязненной воде наблюдается бурное размножение болезнетворных вирусов и микроорганизмов.

Важным источником пресной воды в ряде регионов России являются подземные воды. Однако подземные воды в последние годы так же подвергаются техногенному загрязнению из-за сильного загрязнения земли и наземных водотоков. Нередко это загрязнение настолько велико, что вода из них непригодна для питья.

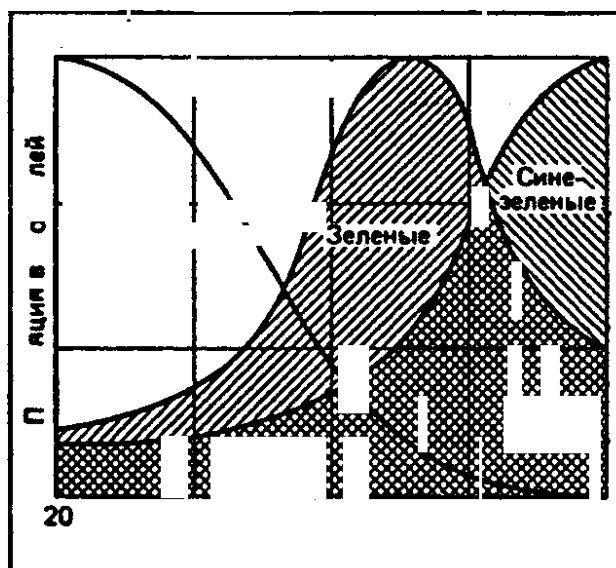


Рис.15.8. Последовательность смены видового состава и формирования сообщества водорослей, вызываемая тепловым загрязнением (по Ф. Рамаду, 1981)

Большую озабоченность вызывает судьба Мирового океана, являющегося великим транспортным путем, «жизненным пространством» для многих растительных и животных организмов, источником несметных богатств для человечества. Загрязнение Мирового океана и многих морей приняло угрожающие размеры. В морские и океанские экосистемы попадает в год только свыше 10 млн т нефти при ее транспортировке, во время катастроф нефтеналивных танкеров и т. д. (рис. 15.9).

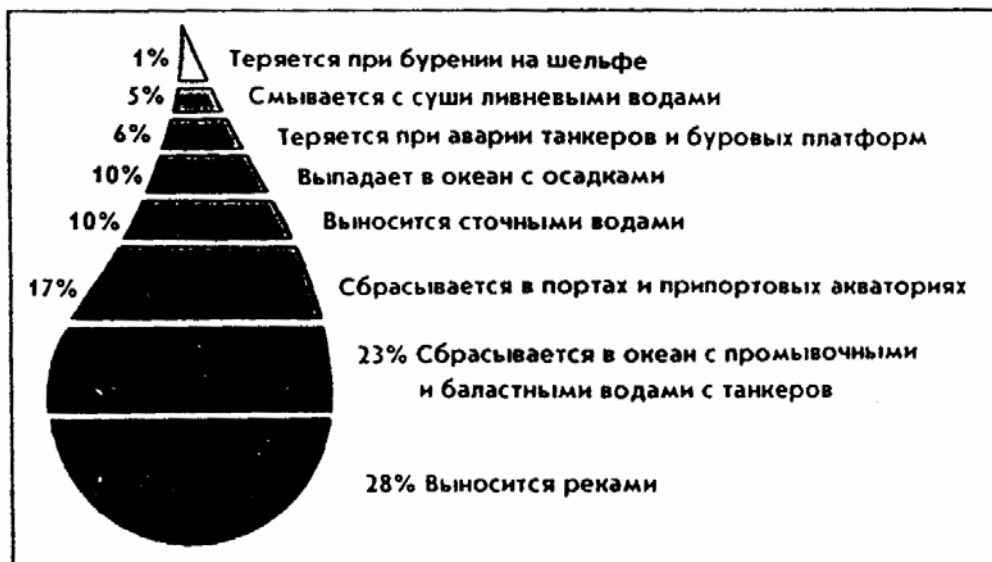


Рис. 15.9. Распределение потерь нефти в % от общей суммы мировых потерь в океане за год (общие потери нефти 0,23% мировой добычи), по Н. Ф. Винокуровой и др., 1994

Известный путешественник Тур Хейердал писал: «В 1947 году, когда

бальсовый плот «Кон-Тики» за 101 сутки прошел около 8 тысяч километров в Тихом океане, экипаж на всем пути не видел никаких следов человеческой деятельности. И для нас, пишет он, было настоящим ударом, когда в 1969 году, дрейфуя на парусной лодке «Ра», увидели — до какой степени загрязнен Атлантический океан. Обгоняли пластиковые сосуды, изделия из нейлона, пустые бутылки, консервные банки. Но особенно бросался в глаза мазут. У берегов Африки, посреди океана, в районе Вест-Индских островов до самого горизонта поверхность моря оскверняли черные комки мазута с булавоочную головку, с горошину, с картофелину».

Озабоченность вызывает загрязнение морей, окружающих Европу: Балтийского, Северного, Средиземного, Черного, где антропогенная нагрузка очень значительна, а сменяемость массы воды происходит сравнительно медленно. Так, только в Среди-земное море ежегодно выбрасывается 120 т минеральных масел, 100 т ртути, 3800 т олова, 2400 т хрома, 21 000 т цинка и еще десятки других вредных веществ.

В последние годы возникла опасность загрязнения вод Мирового океана и морей радиоактивными отходами, пестицидами. Пестициды и другие вредные вещества, в первую очередь агрохимикаты, под влиянием течений распространяются довольно быстро. Они обнаруживаются в различных районах Балтийского, Северного, Ирландского морей, в Бискайском заливе, у западных побережий Англии, Исландии, Португалии, Испании. Это отрицательно сказывается на живых организмах, особенно на рыбных запасах. Все больше загрязняются моря промышленными отходами и сточными водами, содержащими значительное количество органических отходов. Нередко реки играют роль продолжения канализации и выносят большую часть стоков в моря. Так, прибрежные государства Северного моря ежегодно сбрасывают в него около 20 000 т жидких и твердых отходов. В настоящее время в Северном море известны 10 постоянных мест «свалки» отходов. Отходы, попавшие в воды морей, частично оседают на дно, частично разрушаются, но при этом они губят большое количество живых организмов, особенно страдает планктон. На него обрушиваются все поверхностные загрязнители — поверхностно-активные вещества, масла, пленки нефтепродуктов и т. д. Однако проблемы, связанные с загрязнением морей и океанов, остаются нерешенными. По имеющимся оценкам, к концу XX в. общая масса загрязняющих веществ, поступающих в воды морей и океанов, возрастет по сравнению с началом 80-х гг. в 1,5—3 раза.

15.6. Меры по очистке и охране вод

Вода обладает чрезвычайно ценным свойством непрерывного самовозобновления под влиянием солнечной радиации и самоочищения. Оно заключается в перемешивании загрязненной воды со всей ее массой и в дальнейшем процессе минерализации органических веществ и отмирании внесенных бактерий. Агентами самоочищения являются бактерии, грибы и водоросли. Установлено, что в ходе бактериального самоочищения через 24 ч

остается не более 50% бактерий, через 96 ч — 0,5%. Однако следует учитывать, что для обеспечения самоочищения загрязненных вод необходимо их многократное разбавление чистой водой. При сильном загрязнении самоочищения воды не происходит. В этих случаях необходимы специальные методы и средства для очистки загрязнений, поступающих со сточными водами, с отходами сельскохозяйственного производства. Сточные воды очищаются механическим, физико-химическим, биологическим и другими методами (рис. 15.10).

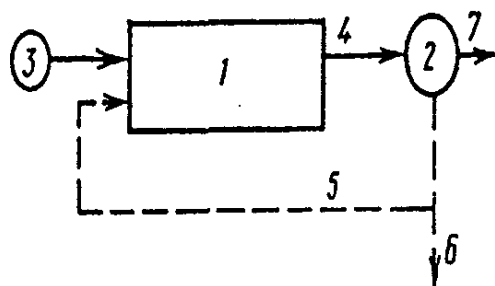


Рис. 15.10. Блок-схема очистных сооружений канализации:

1 — сточная жидкость; 2 — узел механической очистки; 3 — узел биологической очистки; 4 — узел дезинфекции; 5 — узел обработки осадка; 6 — очищенная вода; 7 — обработанный осадок. Сплошной линией показано движение жидкости, пунктиром — движение осадка

Для ликвидации бактериального загрязнения применяется обеззараживание, или дезинфекция, сточных вод. Сущность *механического метода* заключается в том, что из сточных вод путем отстаивания и фильтрации удаляются механические примеси. В зависимости от размеров грубодисперсные частицы улавливаются решетками и ситами различных конструкций, а поверхностные загрязнения — нефтеловушками, маслоуловителями, смолоуловителями и т. д. Механической очисткой можно достигнуть выделения из бытовых сточных вод до 60% нерастворимых примесей, а из производственных — до 95%.

Физико-химическая очистка состоит в добавлении к сточным водам химических реагентов, вступающих в реакцию с загрязняющими веществами и способствующих выпадению нерастворимых и частично растворимых веществ. В качестве адсорбентов применяют естественные и искусственные материалы. Естественные — это глины, торф, а искусственные — активированные угли. Из физико-химических методов широко применяется очистка воды от загрязнителей



15.11. Очистка воды от загрязнителей хлорированием

хлорированием (рис 15 11)

Хлор — наиболее эффективное средство для обеззараживания воды. Он убивает микроорганизмы и вступает в реакцию с аммиаком. Оставшийся в избытке хлор растворяется в воде, защищая тем самым воду от любого нового источника загрязнения.

Физико-химический метод очистки дает возможность уменьшить количество нерастворенных загрязняющих веществ сточных вод до 95% и растворенных до 25%.

Загрязненные сточные воды очищают также *электролитическим* методом (пропусканием электрического тока через загрязненные воды), с помощью *ультразвука, озона, ионообменных смол и высокого давления*.

Механический и физико-химический методы являются первыми этапами очистки сточных вод, после чего они направляются на биологическую очистку.

Метод биологической очистки заключается в минерализации органических загрязнений сточных вод при помощи аэробных биохимических процессов. После биологической очистки вода становится прозрачной, незагнивающей, содержащей растворенный кислород и нитраты. Есть несколько типов биологических устройств по очистке сточных вод: биофильтры, аэротенки и биологические пруды. В *биофильтрах* сточные воды пропускаются через слой крупнозернистого материала, покрытого тонкой бактериальной пленкой. Эта пленка является действующим началом в биофильтрах. Благодаря ей интенсивно протекают процессы биохимического окисления.

Аэротенки — это железобетонные резервуары, обычно больших размеров, через которые медленно протекают подвергающиеся аэрации сточные воды, смешанные с активным илом (рис. 15.12).

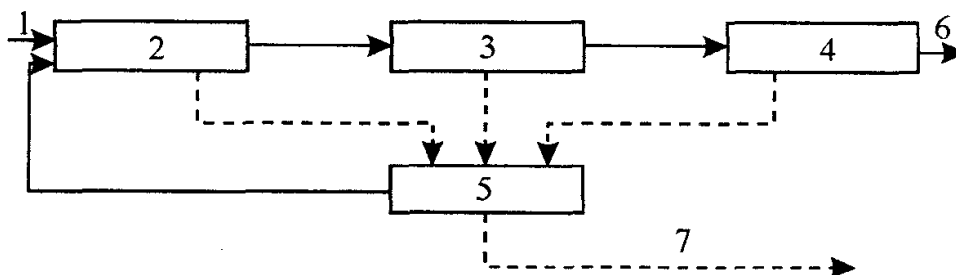


Рис. 15.12. Схема аэротенка-вытеснителя:

1 — аэротенк; 2 — вторичный отстойник; 3 — сточная жидкость; 4 — иловая смесь; 5 — циркулирующий ил; 6 — избыточный активный ил; 7 — очищенная вода. Пунктиром показано движение ила, сплошной линией — движение воды

Очищающее начало аэротенков — активный ил из бактерий и микроскопических животных. Источниками питания и бурного развития организмов активного ила служат загрязнения сточных вод органическими веществами и избыток кислорода, поступающего в сооружение потоком подаваемого воздуха. Бактерии склеиваются в хлопья и выделяют ферменты, минерализующие органические загрязнения. Ил с хлопьями быстро оседает, отделяясь от очищенной воды. Мельчайшие животные (инфузории,

жгутиковые, амёбы, колёвратки и др.), пожирая бактерии, не слипающиеся в хлопья, омолаживают бактериальную массу ила. Следует отметить, что уже через несколько минут после контакта ила со сточной водой обычно концентрация в ней органических веществ снижается более чем наполовину. В целом содержание органического вещества в стоках в результате прохождения через аэротенки сокращается на 90%.

В естественных условиях для биологической доочистки сточных вод используют биологические пруды и поля орошения или поля фильтрации.

Биологические пруды — это неглубокие земляные резервуары, обычно 0,5—1 м, в которых происходят те же процессы, что и при самоочищении водоемов. Они работают при температуре не менее 6°C. Обычно их устраивают в виде 4—5 серий на местности, имеющей уклон. Располагают ступенями так, что вода из верхнего пруда самотеком направляется в нижерасположенный. *Поля фильтрации* предназначены только для биологической доочистки (очистки) сточных вод. На *полях орошения* одновременно с очисткой вод производится выращивание кормовых сельскохозяйственных культур или трав (рис. 15.13).

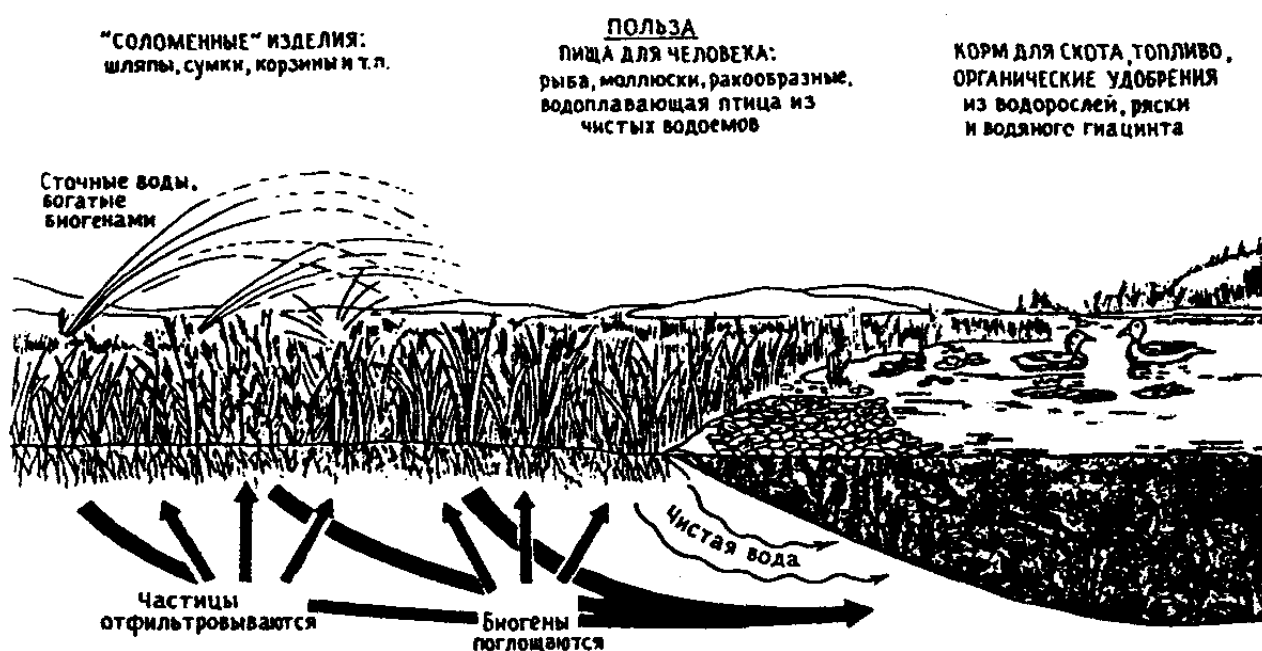


Рис. 15.13. Биологическая очистка сточных вод на полях орошения (по Б. Небелу, 1993)

Выбор схемы очистки в конкретных условиях определяется показателями очищаемых вод, возможностью утилизации примесей и повторного использования очищенной воды для нужд производства. Отдельные виды промышленных сточных вод нуждаются в захоронении. Предоставление недр для захоронения вредных веществ, отходов производства и сброса сточных вод допускается в исключительных случаях и при соблюдении специальных требований.

Рассматривая меры по охране водных ресурсов, следует еще раз подчеркнуть, что сохранение в количественном и качественном отношении природных водоисточников является фундаментальным требованием, определяющим тактику и стратегию водохозяйственной деятельности.

Решение проблемы предотвращения загрязнения водоемов сточными водами состоит в создании безотходных технологических процессов. Под термином «безотходная технология» понимают комплекс мероприятий, до минимума сокращающий количество вредных выбросов. Одним из главных потребителей и загрязнителей воды является сельскохозяйственное производство. Вода — один из факторов урожая. Отсюда на орошаемых землях необходимо всеми силами и средствами беречь и экономить воду, сохранять при этом реки и озера в чистоте, не допускать смыва почвы, поступления агрохимикатов в реки и озера, следует вести борьбу с фильтрацией и другими потерями воды.

На неорошаемых землях применение высокой агротехники имеет особо важное значение в сохранении чистоты водных ресурсов. Правильно проведенная пахота и в целом обработка почвы применительно к конкретным условиям, агролесомелиоративные мероприятия способствуют накоплению влаги в почве и обеспечивают чистоту воды. В сохранении чистоты водоемов в сельскохозяйственных предприятиях должно уделяться внимание организации водопоя домашних животных, строительству животноводческих и других сельскохозяйственных помещений, утилизации навоза и т. д. На речном транспорте наибольшее значение имеет борьба с потерями нефтепродуктов при погрузке, выгрузке и транспортировке на судах, а также оборудование судов неф-теловушками и другими приспособлениями для сбора нефти с загрязненных вод. При речном сплаве леса основными методами борьбы с загрязнением рек являются строгое соблюдение технологии, прекращение молевого, т. е. сплава не в плотях, очистка рек от затонувшей древесины. В промышленности это главным образом строительство цеховых и общезаводских сооружений по очистке сточных вод, совершенствование технологического процесса производства и строительство утилизационных установок

для извлечения ценных веществ из сточных вод. Все большее значение на промышленных предприятиях приобретает применение *оборотной системы водоснабжения* или повторного использования воды (рис. 15.14).

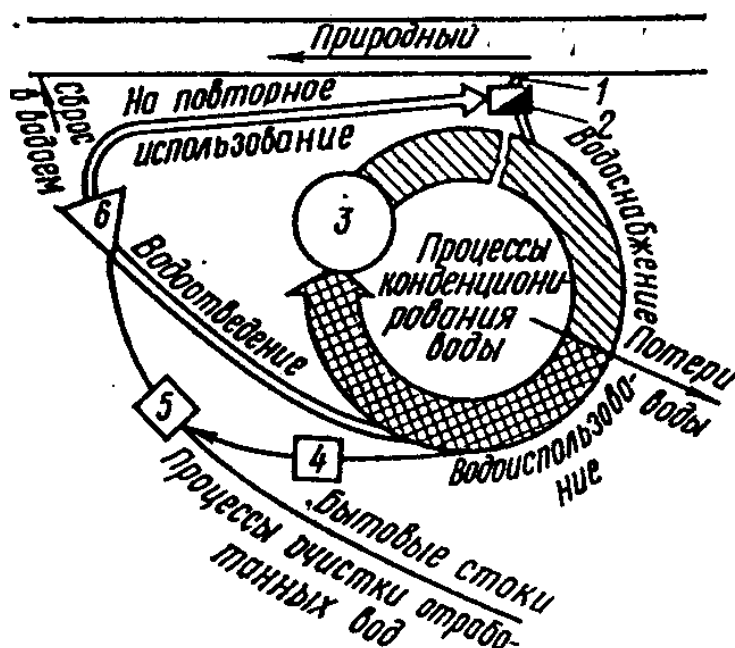


Рис. 15.14. Схема оборотного водоснабжения с повторным использованием очищенных сточных вод:

1 — водозабор; 2 — фильтровальная и насосная станции; 3 — градирни охлаждения оборотной воды; 4 — станция очистки (нейтрализации) сточных вод; 5 — станция биохимической очистки производственных и бытовых сточных вод; 6 — бассейн дополнительной очистки общего стока

В 1985 г. удельный вес оборотной и последовательно используемой воды на производственные нужды составлял $237,6 \text{ км}^3$, или 71% всей необходимой для производственных процессов. На предприятиях Оренбуржья введение оборотной системы водоснабжения дало возможность повторно использовать 1 млрд 900 млн м^3 воды в год. Река Урал стала чище.

Внедрение в Челябинске оборотного водоснабжения на промышленных предприятиях позволило резко сократить потребление речной воды с 8,8 до 5,5 тыс. м^3 в сутки и уменьшить сброс сточных вод в канализацию.

Заслуживает внимания повторное использование очищенных сточных вод из систем канализации для орошения полей и лугов. Например, в Челябинской области в 80—90-х гг. XX в. очищенными стоками поливали поля на площади более 4,5 тыс. гектаров. Следовательно, оборотное водоснабжение является существенным резервом экономного использования воды и сохранения водоемов в чистоте. Но оно должно совершенствоваться, способствуя снижению вредных стоков, отвечать правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. В соответствии с этими правилами предельно допустимой концентрацией (ПДК) примесей в воде считается такая концентрация, которая полностью исключает вредные действия на организм человека, не изменяет запах, вкус и цвет воды. Особое внимание уделяется питьевой воде, ее качеству. Она должна отвечать нормам ПДК, не содержать болезнетворных организмов, пленок, минеральных масел. Питьевая вода обязательно должна очищаться на водопроводных станциях. Контроль за ПДК осуществляется органами государственной санитарной службы.

Важным источником воды являются подземные воды. Как уже было отмечено, запасы подземных вод в России значительны. Так, подземные воды к

востоку от Коркино, Еманжелинска и Красногорска в Челябинской области на протяжении многих десятилетий служили источником их водоснабжения. Эти воды с успехом могут использоваться и для орошения.

На Южном Урале для орошения полей целесообразно использовать воды шахт, подземные воды от откачки вод при добыче полезных ископаемых.

Важным источником чистой пресной воды для нужд промышленности, сельского хозяйства и даже для питьевых целей является опреснение морской воды. Опреснение морской воды с каждым годом проводится во все больших масштабах. Для укрепления здоровья людей и в лечебных целях применяются минеральные источники. Наибольшее их количество на Кавказе и в Закарпатье. Есть они на Урале, Зауралье и в других регионах России. Отношение к ним должно быть самое бережное, они должны использоваться рационально.

Стратегия эффективного и неразрушительного для природной среды водопользования диктует и тактику современной водоохозяйственной деятельности: научное обоснование и долгосрочное прогнозирование водного хозяйства города, области, региона и связанных с этим изменений в природной среде; оптимальное планирование и последовательное осуществление разумного водоохозяйственного строительства; системный подход к решению вопросов. Значительную и весьма положительную роль в осуществлении этих задач играют математическое моделирование, мониторинг и прогнозирование. Математическое моделирование дает возможность рассчитать качество воды, концентрацию примесей, состояние флоры и фауны водных систем в зависимости от антропогенных нагрузок и гидрометеорологических условий. Моделирование позволяет прогнозировать состояние водоемов, научно обосновать все возможности при строительстве промышленных предприятий, развитии орошения сельскохозяйственных угодий и других народнохозяйственных мероприятий. Пример реализации и практического использования математического моделирования — модели Азовского, Каспийского, Балтийского морей, озера Байкал и других объектов. В конце XX в. математические модели и получаемые на их основе долгосрочные прогнозы используются для научного обоснования любого крупного водохозяйственного мероприятия.

16. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

16.1. Значение растений в природе и жизни человека

Растения являются первоисточником существования, процветания и развития жизни на Земле и в первую очередь благодаря их свойству осуществлять фотосинтез. Фотосинтез протекает практически повсеместно на нашей планете, в связи с чем суммарный эффект его колоссален. В процессе фотосинтеза зеленые растения из углекислого газа и воды создают органические вещества (рис. 16.1), служат источником ценных продуктов питания (зерна, овощей, плодов и т. д.), сырья для промышленности и строительства.

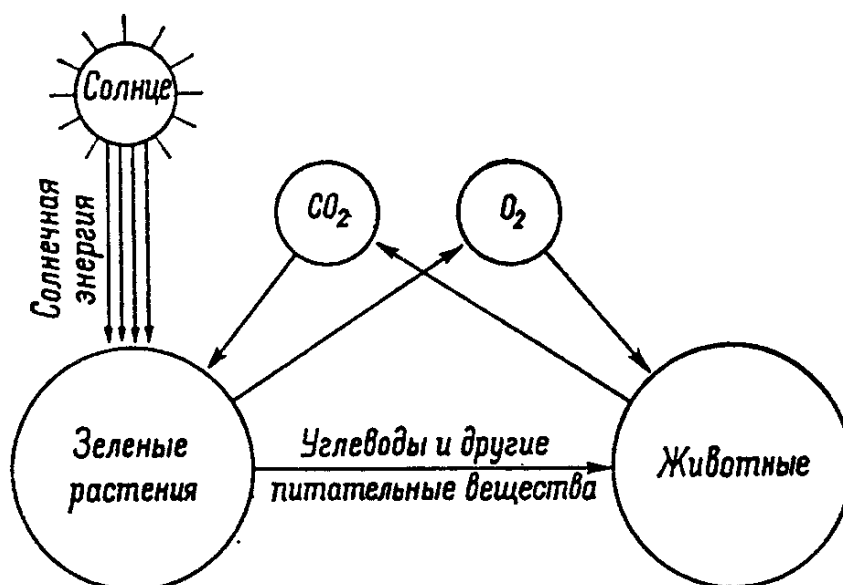


Рис. 16.1. Структура первичных связей между растениями и животными (Balogh, 1958).

Формирование газового состава атмосферного воздуха, как известно, также находится в прямой зависимости от растений. Зеленые растения в процессе фотосинтеза выделяют около $5 \cdot 10^{11}$ т свободного кислорода в год. Один гектар кукурузы выделяет за год 15 т кислорода, что достаточно для дыхания 30 человек. Весь кислород атмосферы проходит через зеленое вещество примерно за 2000 лет. За 300 лет растения усваивают столько углерода, сколько его содержится в атмосфере и водах. Годовая химическая энергия продуктов фотосинтеза в 1000 раз превышала выработку энергии в конце XX в. всеми электростанциями мира. Установлено, что растения Земли в процессе фотосинтеза ежегодно образуют более 177 млрд т органического вещества.

Растения участвуют в образовании гумуса, который является самой существенной частью почвы, обеспечивает ее высокое плодородие. Помимо углерода, водорода и кислорода в состав молекул многих органических веществ входят атомы азота, фосфора, серы, а нередко и других элементов (железа, кобальта, магния, меди). Все они добываются растениями из почвы или водной среды в виде ионов солей, главным образом, в окисленном виде. Минеральные соли не вымываются из поверхностных слоев почвы, так как растительность постоянно всасывает часть минеральных веществ из почвы и передает их животным на корм. Животные, так же как растения, после отмирания передают минеральные вещества обратно в почву, откуда они вновь всасываются растениями. Растения в процессе вымывания как бы изымают минеральные соли и постоянно поддерживают содержание их в почве, что является важным для ее плодородия.

Растительность оказывает большое влияние на климат, водоемы, животный мир и другие элементы биосферы, с которыми она тесно взаимосвязана. От характера растительности во многом зависит и характер

биоценоза, экосистемы, их морфологическая и функциональная структура, биогеоценотическая деятельность компонентов. Велико значение растительности в жизни человека. Прежде всего растительность представляет необходимую среду жизни людей. Дикорастущая флора является неоценимым генетическим фондом в селекционной работе при создании новых сортов сельскохозяйственных культур. По Н.М. Черновой и др. (1995) большая часть растений, которые обеспечивают сегодня около 90% продовольствия в мире, появились путем окультуривания диких растений (рис. 16.2).

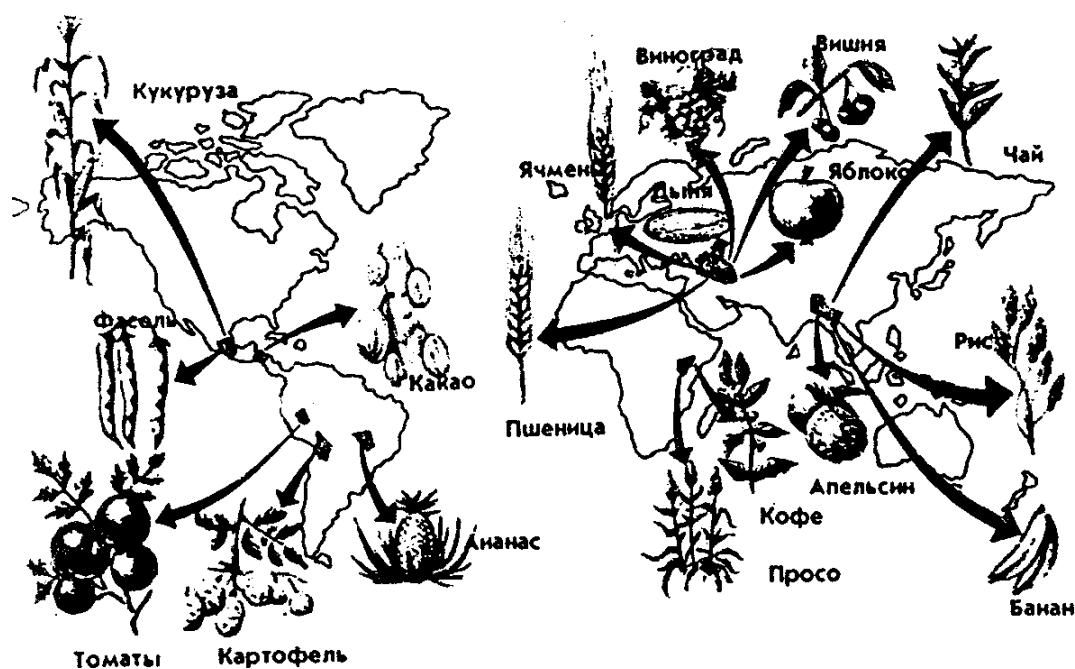


Рис. 16.2. Центры происхождения культурных растений
(по Н. М. Черновой и др., 1995)

Сотрудниками Всероссийского института растениеводства (ВИР) установлено наличие в России около 600 диких видов, являющихся сородичами культурных растений. Многие из них послужили базой для выведения более 1500 новых сортов.

На протяжении многих веков человек добывает из растений многообразные лекарственные вещества, которые так необходимы в медицинской и ветеринарной практике. На современном мировом рынке находятся в обращении продукты свыше 1000 видов лекарственных растений. Среди них препараты из корня жизни — женьшеня, элеутерококка, ландыша майского, горицвета весеннего (рис. 16.3).



Рис. 16.3. Лекарственные растения (по В. К. Терлецкому, 1991):

1 — арника горная; 2 — калина обыкновенная; 3 — лимонник китайский; 4 — женьшень настоящий

Так, около 80% людей в развивающихся странах, заботясь о своем здоровье, полагаются преимущественно на дикие лекарственные травы и другие растения. Около половины предписанных и непредписанных лекарств, потребляемых в мире, содержат натуральные ингредиенты, получаемые из диких организмов. Четвертую часть этих ингредиентов получают из растений, встречающихся только в тропических лесах. Растения являются важнейшим пищевым ресурсом для человека, многие из них используются в разнообразных технологических процессах (пивоварение, хлебопечение, очистка сточных вод и т. д.). Растения служат основной кормовой базой для домашних и многих диких животных. Они участвуют в образовании полезных ископаемых, защищают от разрушения потоками воды и ветром поверхность Земли, от засыпания песками плодородной земли.

Заслуживает внимания индикаторная роль растений. Наблюдая за растениями, человек еще в глубокой древности усваивал ориентиры в пространстве и времени — растения верно служили ему вместо компаса. Некоторые растения довольно точно показывали человеку время суток. Другие растения выполняли функцию барометра и гигрометра, являлись индикаторами пресных и соленых вод. В настоящее время растения-индикаторы используют в своих исследованиях и практической деятельности геологи, гидрологи, землеустроители, почвоведы, климатологи, лесоводы, археологи и др. Например, с помощью растений удастся обнаружить кимберлитовые трубки,

скрывающие алмазы. Растения могут служить индикаторами плодородия почв. Ю. М. Колумелла был глубоким знатоком агрономической науки древнеримского государства. Он писал: «Рачительному хозяину подобает по листве деревьев, по травам или уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может на ней расти хорошо». Подобной точки зрения придерживался и его современник Плиний: «Бузина, ежевика, полевой лук, клевер, дикая яблоня и груша являются признаками хлебной почвы». Растения резко реагируют на изменения внешних условий. В зависимости от характера почвенного покрова наибольшее распространение получают те или иные растения.

Отрицательное воздействие выхлопных газов автомобилей проявляется на некоторых растениях настолько отчетливо, что их с успехом можно использовать для обнаружения опасной для людей концентрации этих газов. Особенно это важно в местах скопления выхлопных газов, например в туннелях, на автострадах с интенсивным движением. Засыхание концов листьев, изменение окраски, появление белых пятен на растениях указывает на присутствие в окружающей среде опаснейших загрязнителей.

Растения разными способами осуществляют детоксикацию вредных веществ. Некоторые из вредных веществ связываются цитоплазмой растительных клеток и становятся не активными, другие подвергаются превращениям в растениях до нетоксических продуктов и участвуют в обмене веществ.

Для борьбы с вредными микроорганизмами растения выработали ряд веществ, способных подавлять их деятельность. К ним относятся антибиотики (пенициллин, стрептомицин, тетрациклин и др.) и фитонциды. Сильными бактерицидными свойствами обладают лук и чеснок. В связи с этим они с давних пор применяются в качестве лечебных средств. Одно растение можжевельника выделяет за сутки 30 г летучих веществ, а один гектар — такое количество фитонцидов, которое достаточно для очистки от микробов всех улиц большого города. Растительность для человека это и источник эстетического наслаждения, оказывающая на него психологическое воздействие. Многие растения стали объектами тщательных исследований биоников с целью использования имеющихся принципов и механизмов в технике и т. д.

Отрицательное же значение растительности по сравнению с приносимой ею пользой незначительно. Так, некоторые виды диких растений растут в качестве сорняков на обрабатываемых землях и пастбищах. В отдельных местах приходится бороться с зарастанием водоемов, каналов. Иногда массовое развитие водной растительности вызывает появление летних заморов рыбы в озерах. Известны и некоторые другие случаи вредного воздействия растений на человека (отравления, грибковые заболевания) и хозяйство (обрастание днищ судов, зарастание дорог и т. п.).

Здесь уместно привести еще один аргумент в пользу нежелательности истребления хотя бы одного-единственного вида растений, каким бы ненужным или даже вредным данный вид ни казался сегодня. Должен учитываться

принцип *потенциальной полезности*. Мы не в состоянии предвидеть, какое значение для человека может иметь тот или иной вид в будущем. Виды, считавшиеся совершенно бесполезными или вредными, нередко затем приобретали огромную важность. Так, оказавшиеся вредными плесневые грибы дали человечеству антибиотики, а многочисленные бактерии, также казавшиеся бесполезными, работают на человечество, включенные в технологию добычи ряда видов полезных ископаемых и т. д. Генофонд ныне существующих организмов — это бесценный эволюционный дар, от правильного использования которого во многом зависит направление научно-технического прогресса в самых различных областях деятельности человека.

16.2. Воздействие человека на растительность

Человек своей деятельностью оказывает огромное влияние на растительность, как положительное, так и отрицательное. Как объект охраны растительность можно разделить на водную, почвенную, подземную и наземную.

Водная растительность играет большую роль в жизни водоемов и их обитателей, но используется человеком слабо.

Почвенная растительность — бактерии, водоросли, отдельные виды грибов играют большую роль в процессах образования почвы и формирования ее плодородия.

Наземная растительность, насчитывающая более 500 тыс. видов (из них 300 тыс. высших видов растений), в наибольшей степени используется человеком и подвергается воздействиям с его стороны.

Трудно сегодня сказать — сколько на планете исчезло растений, которых создать заново уже невозможно. Однако много фактов свидетельствует об исчезновении около 30 тыс. видов растений. В нашей стране насчитывается около 20 тыс. видов растений. Из них примерно до 60% произрастает на природных сенокосах и пастбищах. Более 530 видов стали в настоящее время редкими.

В результате деятельности человека на огромных площадях дикие растения заменяются культурными, т. е. человек в своих интересах постоянно преобразует окружающий мир растений. На растительные сообщества сильное влияние оказывают домашние и дикие животные. Несъеденные растения остаются нетронутыми или затаптываются копытами. Бессистемная пастьба скота ведет к дегенерации пастбищ, вызывает возникновение водной и ветровой эрозии почвы.

Большое влияние на рост и развитие растений оказывают промышленные выбросы. Попадая в атмосферный воздух, они в конечном итоге оседают на растения. Рост растений может замедляться в 2 раза, а иногда и больше. Некоторые промышленные выбросы обладают высокой токсичностью и вызывают засыхание растений. Установлено, что урожайность пшеницы в районах нахождения цветной металлургии ниже на 40—50%, а содержание

белка в ней меньше на 25—35 %. Часто наблюдаются факты уничтожения и порчи растений, которые оправдать ничем нельзя. Например, массовое загрязнение сенокосных угодий, пастбищ и других участков вывезенными промышленными отходами, всякого рода мусором. Тяжелые последствия для растений оставляют массовые сборы цветов, неорганизованные посещения и отдых на лоне природы.

16.3. Лес — важнейший растительный ресурс

Лес входит в состав разнообразного растительного мира и представляет особую ценность. Это природный комплекс, состоящий из древесных растений одного или многих видов, растущих близко друг от друга, образующих сравнительно сомкнутый древостой, и множества других организмов вместе с почвами, подпочвами, поверхностными водами и прилежащим слоем атмосферы. Лес представляет собой природную систему, состоящую из взаимодействующих и взаимосвязанных компонентов, которая характеризуется динамическим равновесием, устойчивостью, авторегуляцией, высокой способностью к восстановлению и обновлению, особым балансом энергии и веществ, динамичностью процессов с тенденциями к их стабильности, географической обусловленностью (рис. 16.4).

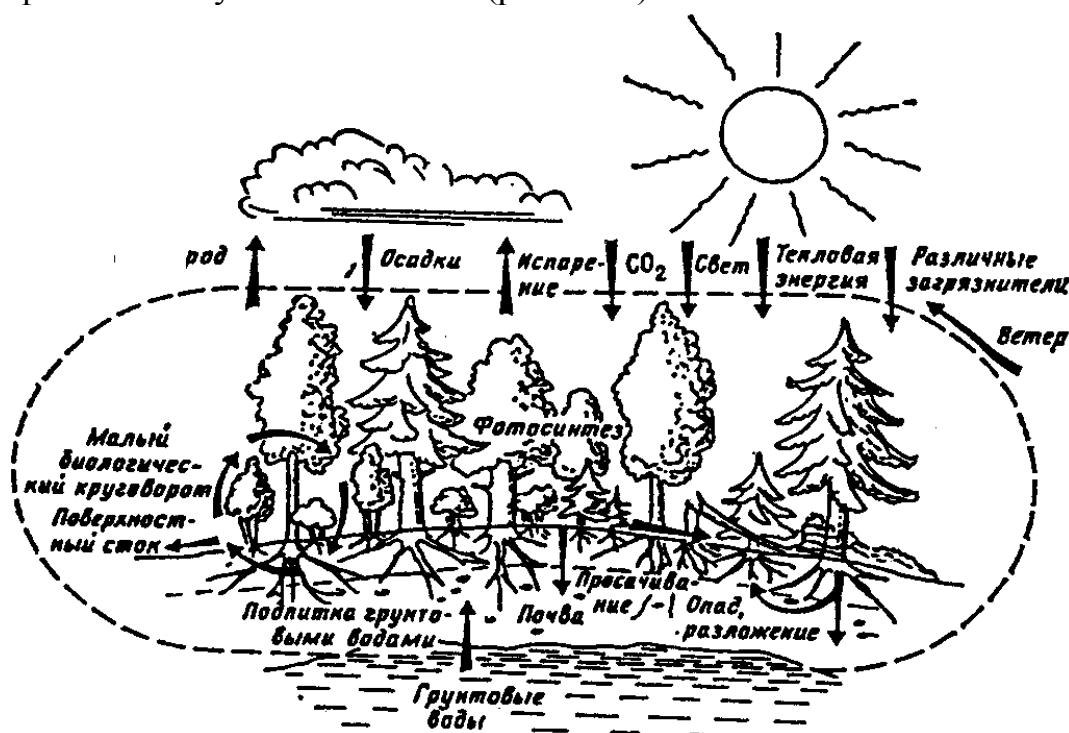


Рис. 16.4. Основные потоки и процессы в лесном сообществе
(по А. А. Минину, Н. В. Семенюку, 1991)

Схематическую структуру леса, как систему, можно представить следующим образом: лес как часть биосферы природно-зональные подразделения леса лесной массив биогеоценоз (экосистема) насаждение (лесной фитоценоз) подразделения насаждения.

Одна из важнейших функций леса, как и растительности в целом, —

продуцирование органического вещества. Скопление биомассы в лесах достигает 10^{17} — 10^{18} г, что в 5—6 раз превышает биомассу травянистой растительности. Леса — самые продуктивные биомы на Земле благодаря ярусной структуре и эффективному использованию солнечного света. Хвойная тайга дает в год от 400 до 2000 г сухой массы на 1 м^2 , листопадный лес — от 3000 до 6000 г/м², влажный тропический лес — 1000—5000 г/м².

Лес оказывает влияние на все компоненты биосферы, играет огромную средообразующую роль (рис. 16.5).

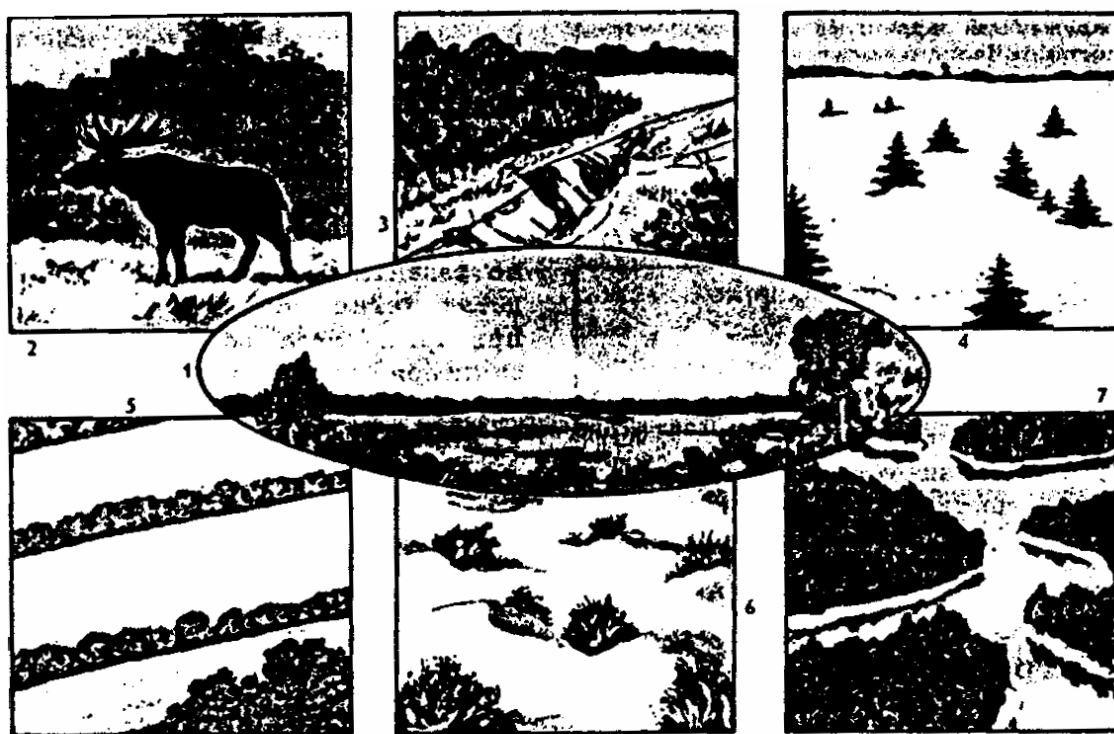


Рис. 16.5. Роль леса в природе (по Н. М. Черновой и др., 1995):

1 — очищающий воздух; 2 — создает места обитания животных; 3 — защищает почву от эрозии; 4 — задерживает осадки (уменьшает поверхностный сток); 5 — создает благоприятный микроклимат для сельскохозяйственных растений; 6 — закрепляет пески; 7 — препятствует загрязнению вод

Лес используется в различных отраслях народного хозяйства, служит материалом для получения десятков ценнейших продуктов — жизненно важных для человека (рис. 16.6).

Подсчитано, что один человек за свою жизнь расходует примерно 200 деревьев, которые идут на строительство жилья, изготовление мебели, получение бумаги для книг, тетрадей и многого другого.

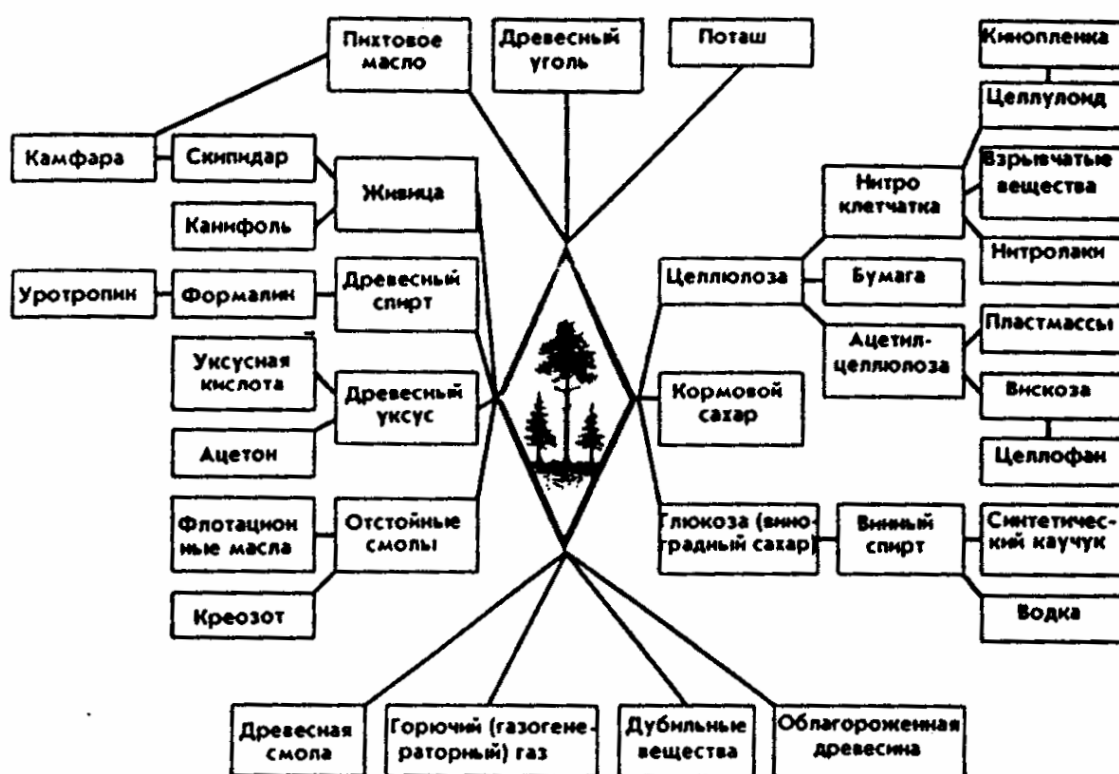


Рис. 16.6. Использование древесины в лесохимической промышленности (из А. Г. Банникова и др., 1985)

Лесные ресурсы. В далеком прошлом леса покрывали большую часть нашей планеты. Наши предки отвоевывали у леса площади для земледелия. По мере развития цивилизации потребности в древесине возрастали, а ее использование становилось разнообразнее. По современным расчетам, за последнее тысячелетие лес вырубил на 50—70% площади Земли. По оценкам лесных экспертов, лесопокрытые территории в 80-х гг. XX в. составляли 29,7% площади суши, сомкнутые леса занимали 24% поверхности суши. Площади лесов и запасы древесины в 90-х гг. XX в. представлены в табл. 16.1.

Общая площадь лесов составляла 2438 млн га, из них леса тропических поясов 1233 млн га (50,5%), леса умеренных поясов 1205 млн га (49,5%). Мировые запасы древесины оценивались в 5412,5 млн т. Из европейских государств самое «лесное» — Финляндия, где леса занимают 70% ее территории. Великобритания бедна лесами — они занимают менее 6% площади страны. Общая площадь лесного фонда Российской Федерации в 1991 г. составляла 1182,6 млн га, покрытых лесом земель — 771,1 млн га, общий запас древесины в лесах — 81,6 млрд м³.

Для рационального использования все леса подразделены на три группы.

Первая группа. Леса, имеющие водоохранное и почвозащитное значение, зеленые зоны курортов, городов и других населенных пунктов, заповедные леса, защитные полосы вдоль рек, шоссе и железных дорог, степные колки, ленточные боры Западной Сибири, тундровые и субальпийские леса, памятники природы и некоторые другие.

Таблица 16.1

Площади лесов и запасы древесины (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Формация	Площадь		Запасы древесины		
	млн га	%	т/га	млн т	%
Тропические влажные (дождевые) леса	463	18,9	6,4	1593,5	29,4
Влажные тропические леса, вегетирующие в дождливое время	260	10,7	2,0	520,0	9,6
Сухие леса, вегетирующие в дождливое время, и горные леса	510	20,9	1,0	510,0	9,4
Всего лесов тропических поясов	1233	50,5	-	2633,5	48,4
Леса умеренных поясов, вегетирующие в дождливое время, лавровые леса	20	0,9	6,0	120,0	2,2
Леса из твердых пород	170	7,0	1,3	221,0	4,1
Летнезеленые леса и горные хвойные леса	395	16,2	4,0	1580,0	29,2
Северные хвойные леса	620	25,4	1,4	868,0	16,1
Всего лесов умеренных поясов	1205	49,5	-	2789,0	51,6
Итого	2438	100,0	2,2	5412,5	100,0

Вторая группа. Насаждения малолесистой зоны, расположенные в основном в центральных и западных районах страны, имеющие защитное и ограниченное эксплуатационное значение.

Третья группа. Эксплуатационные леса многолесных зон страны — районы Европейского Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Леса первой группы не эксплуатируются, в них проводятся только рубки в санитарных целях, омоложения, ухода, осветления и т. д. Во второй группе режим рубок ограниченный, эксплуатация в размере прироста леса. Леса третьей группы имеют промышленный режим рубки. Они являются основной базой заготовки древесины. Кроме хозяйственной классификации, леса различают и по их *назначению* и *профилю* — промышленные, водоохранные, полезащитные, курортные, придорожные и т. д.

Леса России представлены преимущественно хвойными породами, занимающими 73,7% покрытых лесом земель. Однако леса в России распределены неравномерно. 80% всех лесов находится в Азиатской части страны. Курганская область располагается в лесостепной зоне (южная часть Зауралья). Леса занимают 1547 тыс. га, или 21,4% территории области. Белые березовые рощи — характерная деталь зауральских просторов. Белоснежная прелесть! Осенью здесь идет неповторимый золотой дождь. Помните:

«Отговорила роща золотая
Березовым веселым языком...»

Белые березы и Россия... Зауралье — эти понятия всегда стоят рядом. И весной, и летом наши березовые древостой прохладные, задумчивые, какие-то по-русски добрые. Прекрасны у нас и сосновые леса. Леса придают неповторимую красу Курганской земле. Лесная таинственность манит к себе людей, тянет, словно магнит, под зеленые кроны. Но лесам нашим становится с каждым годом все трудней и трудней противостоять антропогенным воздействиям.

16.4. Лес и деятельность человека

В процессе эволюции общества менялись характер и масштабы воздействия человека на лес, как и на природу в целом. Ученые полагают, что уже на стадии собирательства, охоты и рыболовства (конец палеолита — начало неолита) произошел первый экологический кризис антропогенного происхождения. Равнинные леса Европы стали сокращаться в результате вырубки и применения огня. Значительно большие воздействия на лес проявились на стадии скотоводства и земледелия в развитии человеческого общества. По подсчетам, занимаемая лесами площадь за исторический период сократилась в 2 раза. Некоторые леса подверглись особенно сильному воздействию: уже сведено 40—50% первоначальной площади смешанных и широколиственных лесов, 85—90% — муссонных, 70—80% — средиземноморских сухих. На Великой Китайской и Индо-Гангской равнинах осталось менее 5% лесов. Темпы рубки лесов не замедляются: ежегодно их площадь сокращается на 200 тыс. км². Особую тревогу вызывает состояние тропических лесов, образно выражаясь, «легких» нашей планеты, которые вырубаются со скоростью 15—20 га в минуту (рис. 16.7).

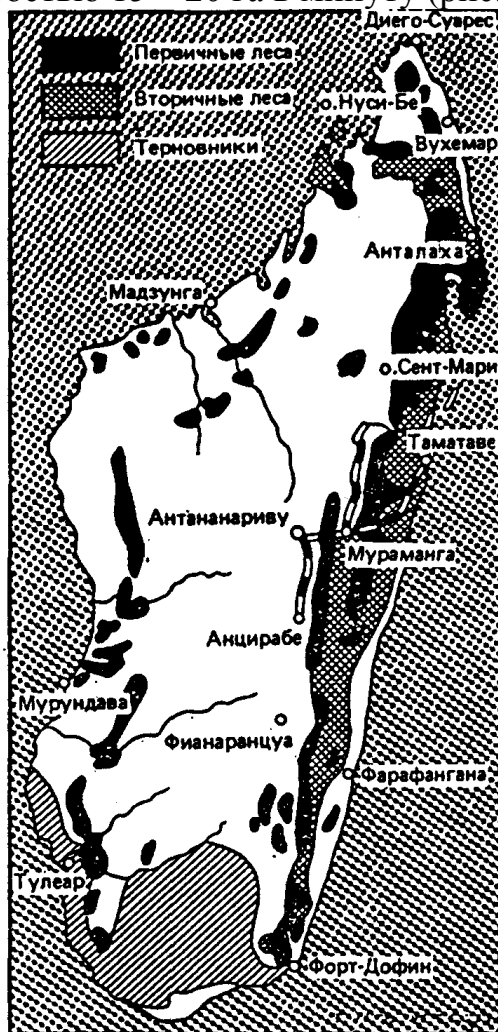


Рис. 16.7. Уничтожение тропических лесов на примере Мадагаскара (по Ф. Рамаду, 1981)

Так, Мадагаскар относится к числу тех тропических районов земного шара, где исчезновение леса приобрело наиболее широкий размах. Некогда леса покрывали $\frac{8}{10}$ территории острова, в настоящее время он обезлесен на $\frac{3}{4}$. Сокращение тропических лесов неизбежно приводит к снижению поступления кислорода в атмосферу, «парниковому эффекту» и потеплению климата, усилению эрозии почвы и росту частоты засух, пыльных бурь, загрязнению и нарушению систем водоснабжения и росту наводнений, а в целом оказывает разрушительное воздействие на естественные экосистемы и их генофонд. Леса России также подверглись интенсивному уничтожению. Только в европейской части с конца XVII по начало XX в. было уничтожено около 40 млн га леса. В результате лесистость снизилась с 50 до 33%, или в 1,5 раза. Площадь лесов, подвергающаяся рекреационной нагрузке, в России и странах СНГ составляет 320—400 тыс. км². На данной территории происходит существенное нарушение экосистем леса, экологических связей. Снижается лесистость территорий. Избирательность вырубок сказывается на породном составе леса. В наших лесах это приводит к снижению доли хвойных пород.

Самый страшный враг леса — *огонь*. Пожар сравнивают с эрозией почвы, и это правильно. Эрозия — бич земледелия, пожар — бич лесов. В 90-х гг. XX в. на территории России ежегодно возникало до 30 тыс. пожаров, охватывающих 2 млн га и более. Главная причина лесных пожаров — небрежное обращение человека с огнем: незатушенные костры, брошенные окурки, спички, тлеющие пыжи и т. д. По данным мировой статистики, 95% лесных пожаров происходит по вине людей. На пожарищах и вырубках вместо ценных хвойных пород вырастает малоценный лес — осинники. Таких лесов только в европейской части России насчитывается около 40 млн га.

Большой ущерб лесным ресурсам наносит *переувлажнение почвы, подтопление* в результате строительства ГЭС (особенно в равнинной местности), водохранилищ, шоссейных и железных дорог и т. д. Гибель лесов по этим причинам можно наблюдать практически во всех областях, регионах России. Промышленные предприятия, выбрасывая в атмосферу, воду, почву различные *химические соединения* (SO₂, радионуклиды и др.), вызывают угнетение и гибель деревьев, кустарников (рис. 16.8).



Рис. 16.8. Массовое усыхание лесов от магнезиевой пыли, SO₂ и других веществ в районах химических заводов

Чувствительность различных древесных культур к соединениям серы представлена на рис. 16.9.

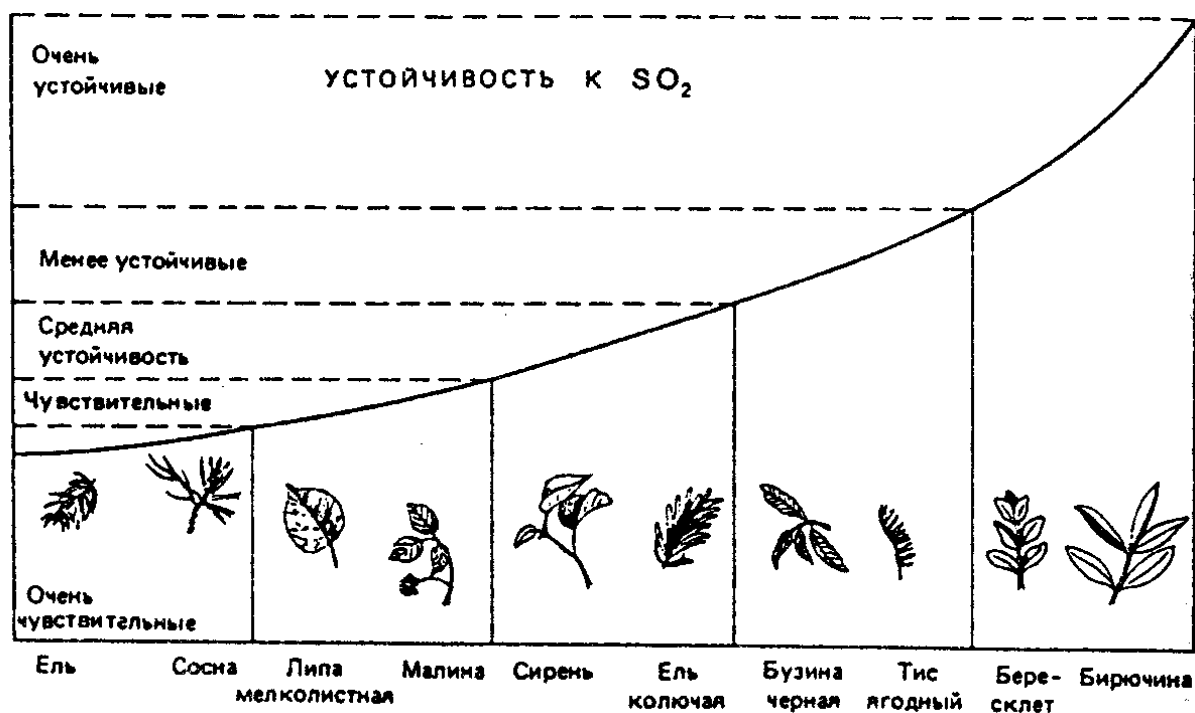


Рис. 16.9. Чувствительность различных деревьев и кустарников к SO_2 (по Kurber-Dittmann)

Площадь земель государственного лесного фонда России, загрязненная *долгоживущими радионуклидами* в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1991 г. составляла около 1 млн га. Здесь создались условия, при которых в течение многих десятилетий невозможно обычное ведение лесного хозяйства и многоцелевое использование леса. Среди причин гибели лесных насаждений следует назвать *вредителей* и *болезни* (табл. 16.2).

Таблица 16.2

Гибель лесных насаждений России в 1991 году

Причины гибели	Площадь, тыс. га
Всего	595,4
в т. ч. от:	
- неблагоприятных погодных условий	322,2
- лесных пожаров	243,8
- повреждений вредными насекомыми	16,7
- грибковых и бактериальных заболеваний	1,7
- повреждений дикими копытными, животными и грызунами	9,7
- антропогенных факторов,	1,3
в т. ч. промвыбросов	0,7

Площадь очагов действия вредных насекомых в лесах России ежегодно достигает 2—3 млн га. В 1991 г. возросли с 4,2 до 61,4 тыс. га очаги особо опасного вредителя таежных лесов — сибирского шелкопряда (Тюменская

область. Красноярский край, Якутия).

Одно из тревожных явлений последних лет — *усыхание лесов*: новый вид разрушений, ведущий к нарушению всех внутриэко-системных связей и к гибели лесной экосистемы. Начало заболевания леса, как правило, связывают с угнетающим действием промышленного загрязнения окружающей среды: кислотные дожди, токсические вещества, содержащиеся в воздухе (двуокись серы, окислы азота, озон, ионы тяжелых металлов или алюминия, органические соединения свинца, возбудители инфекций (например, вирусы), а также влиянием климатических факторов или даже микроволн, электрическими токами высокого напряжения и радиоактивностью. На ослабленных деревьях значительно увеличивается число насекомых-паразитов, болезнь усиливается, больных деревьев становится больше. Возрастает опасность лесных пожаров, учащаются ветровалы в лесу, ухудшается качество древесины. Экосистема начинает деградировать и в конце концов погибает. Большие масштабы и высокие темпы нарушения лесов, разнообразие обуславливающих их причин затрудняет проведение конкретных лесо-охранных мероприятий.

К постоянным причинам деградации лесов относятся и повреждения дикими животными, выпас скота, особенно крупного рогатого.

16.5. Лес и туризм

С давних времен лес всегда привлекал к себе большое количество охотников, сборщиков ягод и грибов и просто желающих отдохнуть. С развитием в нашей стране массового туризма количество посетителей леса настолько возросло, что превратилось в фактор, который нельзя не учитывать при охране леса. Миллионы людей в летнее время, особенно в субботние и воскресные дни, выезжают в пригородные леса, чтобы провести свои выходные дни или отпуск на лоне природы. Тысячи туристов совершают походы по одним и тем же маршрутам. В пригородных лесах нередко можно встретить целые палаточные городки с многочисленным населением. Посетители леса вносят крупные изменения в его жизнь. Для установки палаток рубят подрост, сминают, ломают и губят молодую поросль. Молодые деревья гибнут не только под кострищами, но и под тропами, а то и просто под ногами многочисленных посетителей. Леса, часто посещаемые туристами, настолько основательно захламляются консервными банками, бутылками, тряпками, бумагой и т. д., несут следы больших и малых ран, что это отрицательно сказывается на естественном лесовозобновлении. Несут и везут букеты цветов, ветки зелени, деревьев, кустарников. Спрашивается, что же будет, если каждый из проходящих в лес сорвет только по одной ветке, одному цветку? И не случайно после ряда лет браконьерского отношения к природе в наших, особенно пригородных, лесах не стало многих когда-то в изобилии растущих растений, кустарников и деревьев. Весной десятки тысяч горожан устремляются в леса за черемухой, сиренью. Не удовлетворяются скромными букетами. Охапки, веники, зачастую на крышах автомашин. Как тут не позавидовать тонкому вкусу японцев, которые считают, что букет испорчен, если в нем более трех

цветков.

Не последнее место в нанесении ущерба лесу занимает обычай украшения новогодних елок. Если принять, что одна праздничная елка приходится на 10—15 жителей, то становится ясно каждому что, к примеру, большому городу, эта уютная традиция обходится ежегодно в несколько десятков, а то и сотен тысяч молодых деревьев. Особенно страдают малолесные районы. Следует еще раз напомнить: лес — наш друг, бескорыстный и могучий. Но он, словно человек, у которого открыта настежь душа, требует и внимания, и заботы от нерадивого, бездумного к нему отношения. Жизнь без леса немыслима, и мы все в ответе за его благополучие, в ответе сегодня, в ответе всегда.

16.6. Меры по охране растительности

Растительные ресурсы планеты колоссальны и могут обеспечить существование значительно большего, чем в конце XX в. людей, домашних и диких животных, если эти ресурсы использовать разумно и принимать меры к их охране и воспроизводству. Актуальность охраны растительности из-за антропогенного воздействия с каждым годом возрастает. Как уже было отмечено, многие виды растений используются в качестве пищевых, кормовых, лекарственных, витаминных, медоносных, декоративных и являются важным резервом для народного хозяйства. Однако под воздействием деятельности человека природные растительные комплексы быстро сокращаются. Во всех случаях человек объясняет свои действия как явление совершенно неизбежное, связанное с развитием производства. Все это так, но тем не менее деятельность человека должна сочетаться с бережливым отношением к растительному миру. *Главная задача* — сохранение видового разнообразия сородичей культурных растений в качестве генофонда, позволяющего расширить и улучшить селекционные работы.

Виды растений существуют не изолированно. Они связаны множеством нитей с другими растительными, животными компонентами и абиотическими факторами природных комплексов. Поэтому охрана растительности — задача комплексная, должна проводиться через охрану всей природной среды, включая растительные сообщества, в состав которых входят данные виды растений. Охране подлежит вся флора и ее группировки — фитоценозы.

Основными задачами *охраны леса* являются *иррациональное использование и восстановление*. Все большее значение приобретают мероприятия по охране леса малолесистых районов в связи с их водоохранной, почвозащитной, санитарно-оздоровительной ролью. Особое внимание должно уделяться охране горных лесов, так как они выполняют важные водорегулирующие почвозащитные функции. При правильном ведении лесного хозяйства повторно рубки на том или ином участке должны проводиться не ранее чем через 80—100 лет, при достижении полной спелости. В 60—80-х гг. XX в. в ряде областей европейской части России к повторным рубкам возвращались значительно раньше приведшее к потере их климатообразующего

и водорегулирующего значения, возросло количество мелколиственных лесов. Важная мера по рациональному использованию лесов — это борьба с потерями древесины. Нередко при заготовке древесины происходят значительные потери. В местах рубок остаются ветви, хвоя, которые являются ценным материалом для приготовления хвойной муки — витаминного корма для скота. Отходы от рубки леса перспективны для получения эфирных масел.

Своевременное лесовозобновление — важнейшее условие для сохранения лесных ресурсов. В России естественным путем восстанавливается около трети ежегодно вырубаемых лесов, остальные требуют специальных мер по их возобновлению. На 50% площади достаточно только мер содействия естественному возобновлению, а на остальной — необходимы посев и посадка деревьев. Положительно сказывается на восстановлении лесов проведение их очистки от остающихся после вырубki ветвей, коры, хвои и т. д.

В воспроизводстве лесов большую роль играют *мелиоратив-ные мероприятия*: осушение переувлажненных почв, посадка улучшающих почву деревьев, кустарников и трав. Это благоприятно сказывается на росте деревьев и качестве древесины. Там, где естественного возобновления леса на вырубках не происходит, после рыхления почвы производят посев семян или саженцев, выращенных в питомниках. Таким же способом восстанавливают леса на гарях, полянах, высаживая высоко продуктивные сорта деревьев. Наряду с лесовосстановительными работами и повышением продуктивности леса, наряду с правильным подбором и широким внедрением быстрорастущих пород, разумным осушением заболоченных земель требуются *своевременные меры ухода* за лесом. Прореживание, прочистка, осветление, санитарная рубка, защита от пожаров, вредителей и болезней, потравы скотом и т. д. — все это улучшает состояние леса, повышает его продуктивность. Эти мероприятия при правильном их осуществлении способствуют охране леса как природного комплекса.

В последние годы центр лесозаготовок в России переносится в Сибирь. Осуществляется лесовосстановление, ликвидируются последствия необдуманных рубок леса, ведутся санитарные рубки и другие работы по уходу за лесом. Лесопосадки проводят на свободных площадях и необлесенных пустырях. Лес стараются использовать шире и комплекснее. Так, в 1991 г. расчетная лесосека (норма лесопользования) в целом по России составляла более 550 млн м³, в том числе хвойных пород — 340 млн м³. Фактически же использование расчетной лесосеки — 46% по общему объему и 52% по хвойным породам. Рубки ухода за лесом проведены на площади более 2 млн га, лесовосстановительные работы — на площади 1,6 млн га. На современном этапе развития лесного хозяйства достигнутые объемы по лесовосстановлению обеспечивают сохранение и даже некоторое увеличение покрытых лесом земель.

Охрана лесов от пожаров осуществляется на 65% площади лесного фонда Российской Федерации. Борьба с вредителями и болезнями проведена в 1991 г. на общей площади 565 тыс. га, в том числе на 483 тыс. га с применением биологических методов и средств.

16.7. Охрана хозяйственно-ценных и редких видов растений

На территории России встречается множество растений, обладающих разнообразными полезными свойствами. Использование их в практических целях еще далеко не полно. Достаточно отметить, что из 300 тыс. видов мировой флоры высших растений используются человеком в хозяйственной деятельности систематически только около 2500 видов, а периодически — до 20 тыс. видов. В России в хозяйственных целях находят использование около 250 видов. Многие растения обладают ценными свойствами и применяются в медицине, технике, кулинарии, цветоводстве и озеленении.

Не изучен в достаточной мере мир лекарственных растений. В настоящее время проводится его интенсивная разведка. Комплексные исследования, проводимые фармакологами, химиками, ботаниками и растениеводами, позволили выявить новые ценные в лечебном отношении растения, которые можно использовать в медицинской практике не только в форме препаратов, но и в виде индивидуальных веществ. Мало изучены и пищевые свойства растений. В конце XX в. начались интенсивные поиски новых растений, которые могли бы дать больше белка, чем те, которые уже известны в растениеводстве. Таким примером является хлорелла, которая привлекает ученых своей наибольшей фотосинтетической способностью. Она использует в искусственных условиях до 20% солнечной энергии (цветовые растения — 2%), а ее урожайность в 25 раз выше, чем пшеницы. Изучение многих растений, исчезающих с лица Земли, помогает раскрыть новые страницы в истории, лучше познать законы становления растительного мира. До нашего времени сохранились древние формы растений, значение которых для науки трудно переоценить. В России встречаются эльдарская сосна и ос-танцы флоры третичного периода. Они являются редкими, а частично и вымирающими видами, подлежащими охране, например, в бассейне реки Уссури — лимонник, амурская сирень и др.

Некоторые растения становятся редкими и вымирающими вследствие их истребления. Примером этого служит женьшень, или «корень жизни», почти исчезнувший в лесах Дальнего Востока. Охрана редких растений становится важной государственной задачей.

В Красную книгу Российской Федерации занесено 533 вида растений, подлежащих охране. Среди них следует назвать: женьшень, арелию материковую, лотос, водяной орех, заманиху, венерин башмачок (рис. 16.10) и др.



Рис. 16.10. Венерин башмачок

В Курганской области в охране нуждаются 79 видов растений. Три вида — башмачок крупноцветковый, башмачок настоящий и ятрышник шлемоносный — включены в Красную книгу России, 14 видов вошли в список редких и исчезающих растений Сибири. Сохранение редких и исчезающих видов может осуществляться разными путями.

Первый путь — запрещение каких-либо действий: выкашивания, обламывания, порчи. *Второй путь* — охрана редких видов в заповедниках, национальных парках, заказниках, объявление памятниками природы. *Третий путь* — создание коллекционных участков и резерватов в сети ботанических садов и других научных учреждений. Перенесенные на коллекционные участки растения могут поддерживаться в культуре неопределенно длительный срок и являться необходимым резервом для разнообразных целей. Наряду с редкими и исчезающими видами растений охране подлежат и хозяйственно-ценные растения, произрастающие в природе. В этом случае главное — это рациональное их использование и борьба с браконьерскими формами неорганизованного сбора.

17. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИВОТНЫХ

17.1. Значение животных в биосфере и жизни человека

Животный мир представляет собой важную часть биосферы нашей планеты. Вместе с растениями животные играют исключительную роль в миграции химических элементов, лежащей в основе существующих в природе взаимосвязей (рис. 17.1).

Животные, которых насчитывается сегодня, по данным ученых, более 1,8 млн видов, являются потребителями органического вещества, создаваемого растениями из неорганического за счет солнечной энергии. Питаясь растениями и друг другом, животные участвуют в биологической круговороте веществ, а также в круговороте веществ планеты. Отсюда и роль в развитии и жизни природы велика и разнообразна. Один вид животных не способен в любой экосистеме расщепить органическое вещество растений до конечных продуктов. Каждый вид использует лишь часть

растений и некоторые содержащиеся в них органические вещества. Непригодные для этого вида растения или еще богатые энергией остатки растений используются другими видами животных. Так, складываются сложные и сложнейшие цепи и сети питания, последовательно извлекающие вещества и энергию из фотосинтезирующих растений. В процессе эволюции виды животных приспособились к наиболее эффективному использованию определенного набора кормовых объектов. Каждый из видов на популяционном уровне приспособлен к тому, что он является кормом для ряда других видов. В сложнейшей взаимосвязанной экосистеме животные как подвижный активный элемент в значительной мере определяют устойчивость этой системы. Находясь в зависимости от растений, животные, в свою очередь, определяют их жизнь, структуру и состав почв, облик ландшафта. Самая разнообразная и

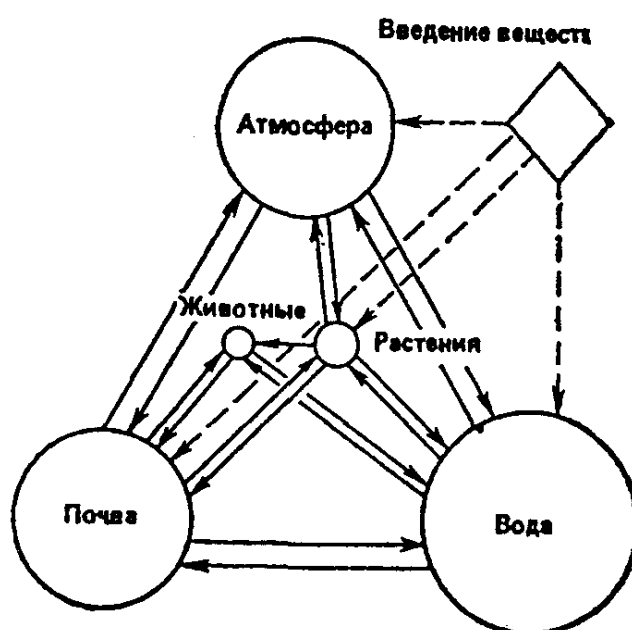


Рис. 17.1. Пути распространения веществ в окружающей среде

многочисленная группа животных (две трети) — насекомые, которые и имеют наибольшее значение в экосистемах. Без насекомых среди растений господствовали бы хвойные, папоротники, мхи и другие голосеменные, так как большинство цветковых растений опыляются насекомыми.

Многие птицы, рыбы существуют за счет насекомых. Большая их роль и в формировании почв. Разнообразное значение имеют в экосистемах и другие беспозвоночные. Общеизвестна роль дождевых червей, способствующих аэрации почвы, распределению в ней гумуса, созданию ее структурности. Большое значение имеют земляные клещи, нематоды, мокрицы, многоножки и многие другие, повышающие плодородие почв. Велико и разнообразно значение моллюсков как источника корма других животных, как фильтраторов воды, обеспечивающих ее очищение. При участии животных формируется химический состав подземных и грунтовых вод, возникает особая приземная атмосфера. Участвуя в круговороте веществ в природе, влияя на состояние и развитие других ее компонентов, животные играют важную роль в жизни биосферы и особенно в поддержании «системы динамического равновесия» в живой природе. Огромную роль играют животные в жизни человека. Многие из них служат важными источниками питания и технического сырья как для кустарного, так и промышленного производства. Это сельскохозяйственные животные, пушные звери, рыба, разнообразная дичь и т. д.

Фауна диких животных является неисчерпаемым источником одомашнивания (рис. 17.2).

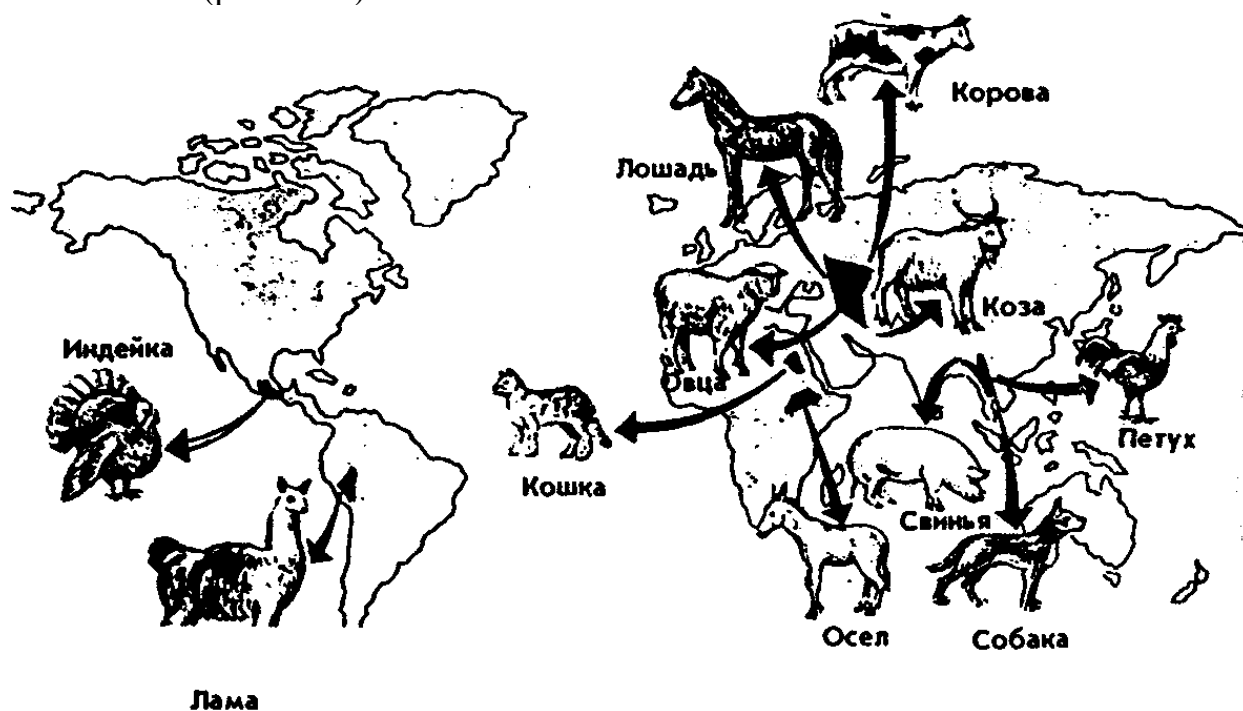


Рис. 17.2. Центры происхождения домашних животных
(по Н.М. Черновой и др., 1995)

В настоящее время интенсивно одомашниваются пушные звери (лисица, норка, песец, соболь и др.), ведутся опыты с приручением лося, антилоп, белой

куропатки и т. д. При выведении новых пород и в целях улучшения качества имеющихся используются для скрещивания с домашними животными их близкие дикие родичи. Помимо экологического значения, животные имеют эстетическое, научное, медицинское, рекреационное, этическое. Общеизвестно *эстетическое* значение животных — птицы, аквариумные рыбы, млекопитающие. Животные — это источник красоты, удивления, радости и удовольствия для большинства людей, особенно при общении с ними на отдыхе, в естественных условиях. Смотреть на малиновку, кормящую птенца, любоваться парящим над головой орлом, погладить колючки ежа — это лишь некоторые радости, которые нам доставляют животные и без которых природа наполовину была бы мертва. Животные служат объектом *научных исследований*, в том числе медицинских и др. На многих видах диких животных проверяют лекарства, вакцины, токсичность химических соединений, хирургические операции, что расширяет наши знания о здоровье и заболеваниях человека. Для этих целей используют морских свинок, собак, крыс, мышей, шимпанзе, макак-резусов, лягушек и т. д.

До недавних времен охрана животных (в первую очередь диких видов) объяснялась существующей или потенциальной пользой их как ресурсов, необходимых человеку. Сегодня считается, что ускорение исчезновения каких-либо видов с *этической* точки зрения является несправедливостью с нашей стороны. Не только виды, а каждое отдельное творение природы имеет право на выживание без вмешательства человека, так же как имеет право на выживание каждый человек.

Однако отдельные виды животных могут выступать и в качестве вредителей и возбудителей заболеваний сельскохозяйственных, а также диких, полезных для человека растений и животных. Отдельные виды участвуют в поддержании природно-очаговых заболеваний человека, являются прокормителями кровососущих паразитов.

Другие же животные являются истребителями указанных вредителей, принося тем самым большую пользу человеку.

В природе все виды связаны с другими, и уничтожение одного может привести к совершенно непредвиденным последствиям. Один из примеров такой взаимосвязи — применение во многих регионах в недавнем прошлом в борьбе с саранчой гексахлорана. При этом значительно уменьшалось число таких хищных насекомых, как божьи коровки и златоглазки. В результате на посевах бобовых, плодово-ягодных и цитрусовых культурах усиливалось размножение щитовок, белокрылок, клопов, трипсов и клещей. Наглядно иллюстрировался *принцип взаимосвязи* в живой природе.

Другой важный принцип — *принцип равновесия*. Популяции отдельных видов, живущие вместе, составляют биоценоз — элементарный «кирпичик» биосферы (рис. 17.3).

От его работы зависит качество природных вод, состав воздуха, плодородие почв и т. д. Замечательное свойство природных биоценозов, биогеоценозов (экосистем) — их устойчивость — может быть нарушено уничтожением каких-то форм жизни в пределах экосистемы или, напротив,

введением новых животных или растительных видов в уже сложившиеся системы.

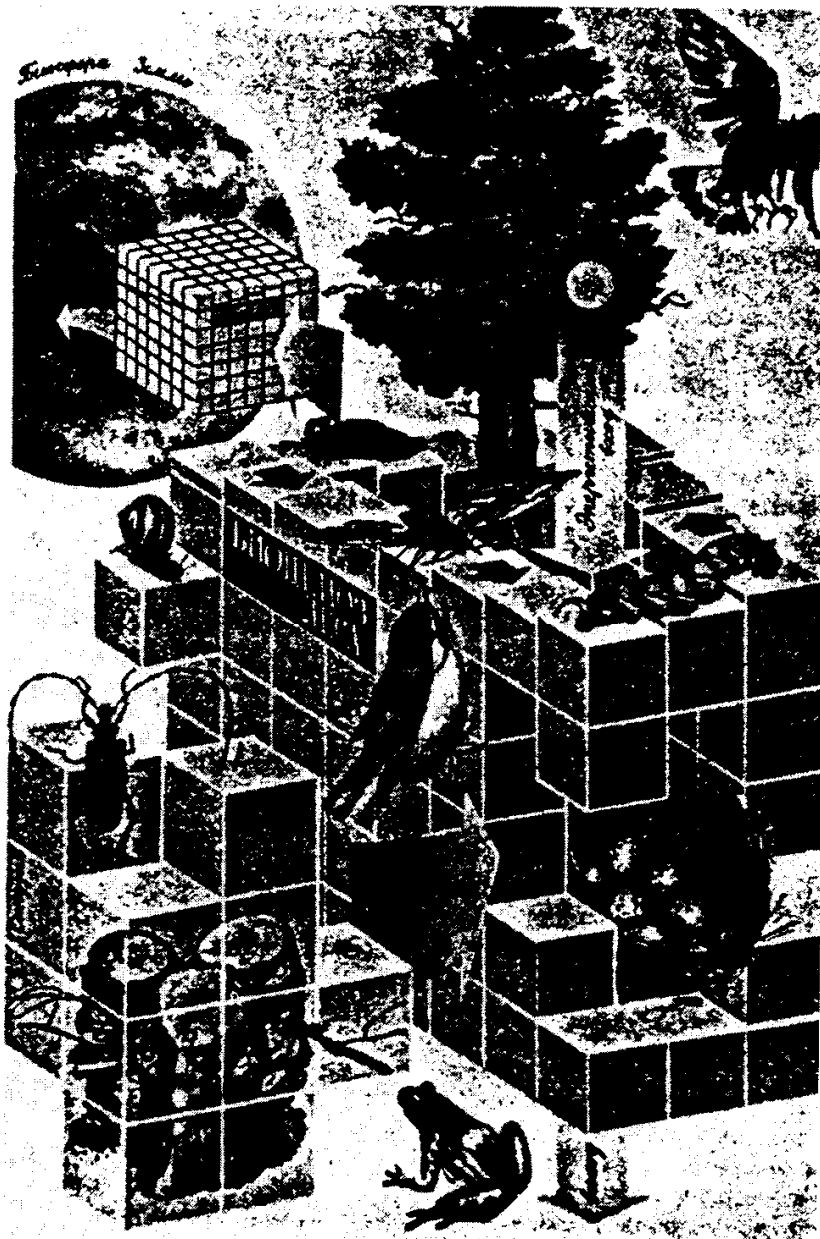


Рис. 17.3. Биоценозы и биогеоценозы — «кирпичики», из которых сложена биосфера

Нежелательность истребления хотя бы одного-единственного вида, каким бы ненужным или даже вредным этот вид человеку ни казался, обосновывается *принципом потенциальной полезности*. Человек зачастую в состоянии предвидеть, какое значение для людей в будущем может иметь тот или иной вид. Например, если бы стеллерова корова — огромное, длиной до 10 м и массой в несколько тонн морское травоядное млекопитающее из отряда сиреневых (рис. 17.4), жившее около 200 лет назад в водах Камандорских островов, — не была истреблена, проблема животного белка в дальневосточных районах нашей страны могла бы решаться по-иному, чем

сейчас.

Как с биологической, так и хозяйственной точек зрения, организовать многочисленные высокопродуктивные фермы этих животных на базе огромных запасов морских водорослей по всему побережью дальневосточных морей в настоящее время было бы вполне реально. Остановка за малым: уже нет в природе этого замечательного животного...

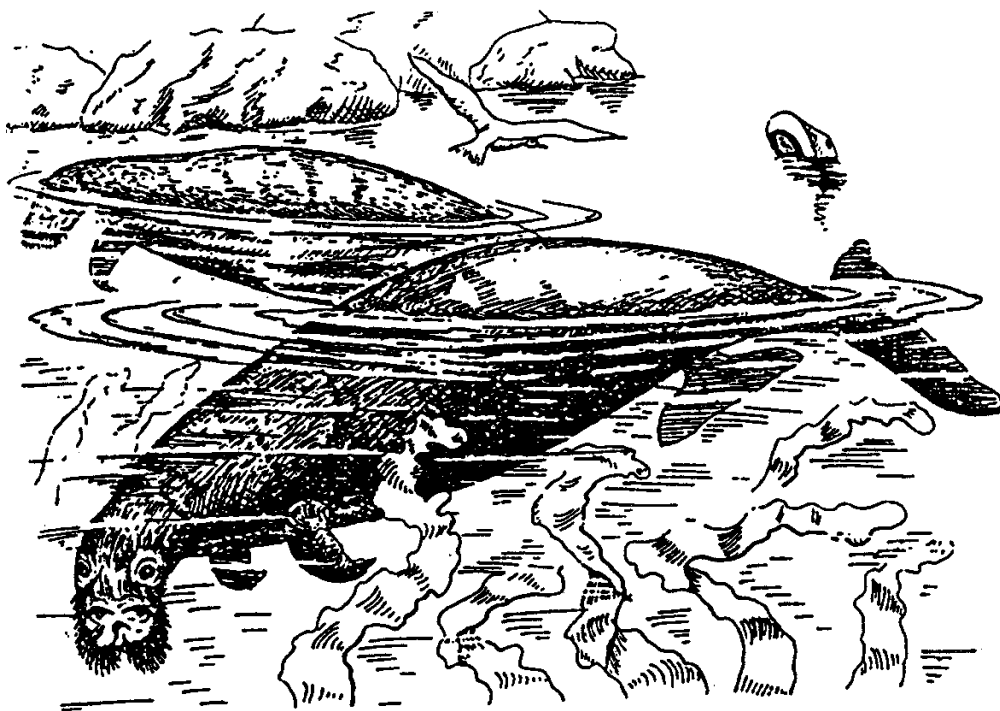


Рис. 17.4. Морская, или стеллерова, корова

Все большее значение в последние годы приобретает *принцип незаменимости*. Он может быть сформулирован следующим образом — никогда продукты естественного происхождения не смогут быть полностью заменены искусственными. Принцип незаменимости естественных продуктов сейчас наглядно подтверждается широким распространением разного рода аллергических заболеваний, по числу и тяжести выходящих едва ли не на одно из первых мест в развитых странах. Аллергические заболевания появляются и усиливаются параллельно с насыщением нашей пищи искусственными добавками, а быта людей — продуктами, к которым человеческий организм эволюционно не приспособлен (синтетические ткани, пленки и т. д.). Меха, ткани, медицинские препараты и многие другие продукты никогда не смогут быть полностью заменены равноценными по качеству и пригодности для человека продуктами искусственного происхождения.

Принцип разнообразия по значимости и содержанию отличается от всех вышеназванных и связан с общением человека с природой (рыбалка, охота, туризм, работа на приусадебном, садовом участке, в своем хозяйстве и т. д.), необходимостью разнообразия живого. Это вытекает из генетической уникальности каждого индивида, определяющего уникальность наклонностей

каждого человека, а отсюда и уникальный набор живых организмов, общение с которыми будет адекватным данному человеку, с его неповторимым генотипом.

Все вышесказанное не охватывает всех аргументов за сохранение живой природы во всем ее многообразии, данном человечеству эволюцией. Вместе с тем и приведенные аргументы достаточны для однозначного вывода: необходимо сохранять не только отдельные виды, а все видовые многообразия. Необходимо сохранять разнокачественность живой природы.

17.2. Воздействия человека на животных, причины их вымирания

Органические остатки и другие доказательства свидетельствуют о том, что на Земле за прошедшие 500 млн лет произошло пять или шесть катастрофических вымирании преимущественно многочисленных видов животных. Возможно, мы никогда не узнаем действительную причину этих массовых вымирании. Одно нам известно, что оно не было вызвано человеком.

Параллельно с развитием человеческой цивилизации, научно-технического прогресса, без сомнения, идет и сокращение численности многих видов животных сегодня. Воздействие человека на животных осуществляется двояким путем: *прямым* — непосредственным преследованием и истреблением, или расселением, и *косвенным* — изменением условий жизни.

В 1850 г. видный орнитолог А. Уилсон наблюдал, как одна перелетная стая странствующих голубей более чем на четыре часа закрыла небо. По его подсчетам, численность стаи превышала 2 млрд птиц, длина ее составляла 240 миль, а ширина — 1 милю. К 1914 г. странствующий голубь навсегда исчез. Основной причиной исчезновения этого вида стала неконтролируемая промысловая охота. Другой пример. В 1976 г. только в США было импортировано 32 млн шкурок и кож, снятых с убитых животных, и 91 млн изделий из представителей дикой фауны. В последние годы сокращается численность не только крупных, промысловых животных, но и амфибий (лягушек, тритонов, саламандр), многих насекомых. В окрестностях крупных городов стали редкими дневные бабочки траурница, павлиний глаз, орденская лента, махаон и другие, подвергшиеся интенсивному вылову. Угрозой для выживания многих видов оказались недостаточно продуманные мероприятия по интродукции животных в сложившиеся экосистемы. Общеизвестен пример с кроликами, завезенными в Австралию, катастрофически размножившимися и опустошившими большие районы в Австралии. Они подорвали кормовую базу у коз и вызвали их гибель. И таких примеров, к сожалению, очень много и на других континентах. Так, выпущенный в озеро Балхаш судак как более сильный хищник к середине 70-х гг. XX в. полностью вытеснил распространенного только в этом бассейне балхашского окуня.

Сокращение большинства видов живых организмов связано и с включением все большей части территорий в активную хозяйственную деятельность: распашка полей, прокладывание дорог, расширение территории

поселков и городов. Численность животных сокращается в связи со все более частым посещением людьми прежде необжитых, безлюдных районов тундры, тайги, зоны высокогорий и пустынь.

Отметим, что урбанизация биосферы нередко оказывается благоприятной, например, для крыс, домовых мышей, воробьев, ворон, голубей, некоторых видов пещерных пауков, домовых мух, моли и т. д.

Тревога по поводу сокращения численности и полного истребления многих видов не надуманна. С начала XVII по конец XX в. с лица Земли исчезло 68 видов млекопитающих, 130 видов птиц, 28 видов рептилий, 6 видов рыбы и 6 видов амфибий (рис. 17.5).

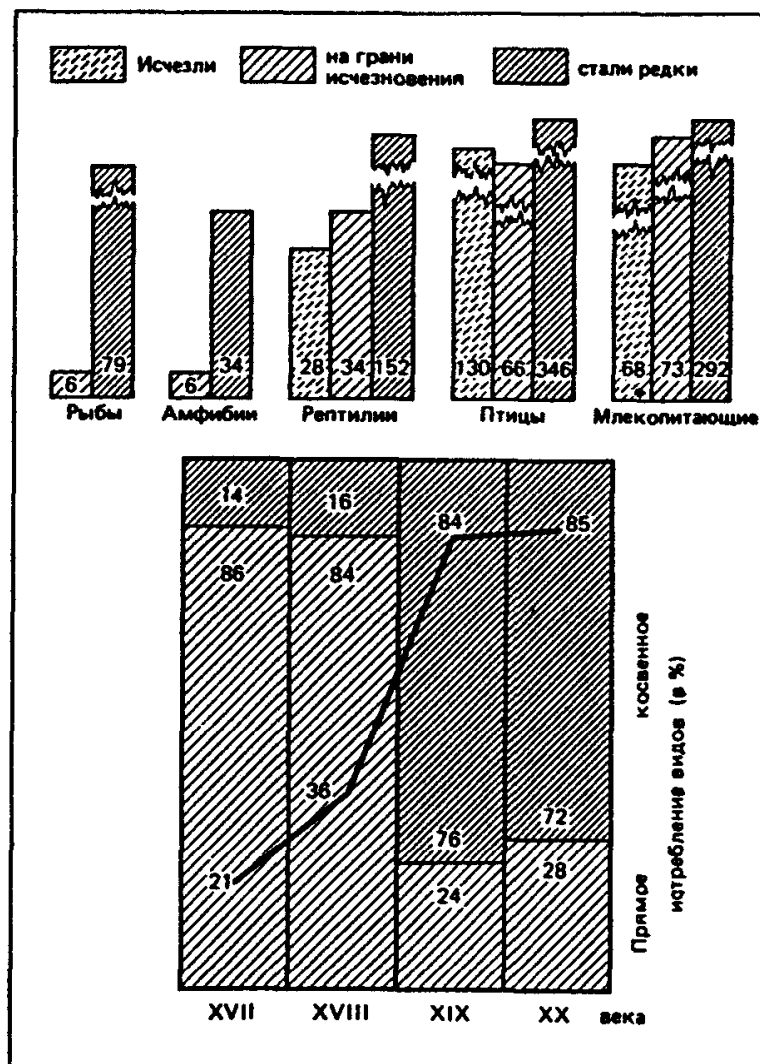


Рис. 17.5. Прямое и косвенное истребление видов позвоночных животных с начала XVII по конец XX в. (в процентах и абсолютных цифрах), по Н. Ф. Реймерсу, 1990

По данным Международного союза охраны природы (МСОП), в среднем на нашей планете ежегодно исчезает по одному виду или подвиду позвоночных животных.

Помимо полного и повсеместного вымирания видов, широкое распространение приобрело явление частичного вымирания, т. е. исчезновения в отдельных странах и регионах. Так, в Австралии исчезло 7 видов кенгуру, в

Шотландии — 14 видов птиц, на Гавайских островах вымерло 26 форм птиц, или 60% всей их фауны. В России на Кавказе при содействии человека вымерло 9 видов зверей: лев, дикий бык-тур, кулан, гепард, бобр, лось, тарпан, зубр и тигр, а в других районах — ряд степных видов позвоночных: дрофа, стрепет, сурок и т. д.



Рис. 17.6. Овцебык

Когда-то овцебыки (рис. 17.6) вместе с мамонтами, шерстными носорогами, северными оленями населяли тундро-степи севера Евразии. 20—30 тыс. лет назад они проникли и в Арктику Нового Света, а в Евразии исчезли. Ученые полагают, что на территории России овцебыки были истреблены всего 150—200 лет назад, на Аляске — еще позднее, в 1860—1870 гг.

На заре истории европейских наций повсюду обитал один из самых крупных быков мира — зубр (рис. 17.7). В ту пору на территории нашей страны зубры жили и в

лесах, и в степи, от Прибалтики, Белоруссии, охватывая всю ее европейскую часть, весь бассейн Дона и Днепра, Северный Кавказ, доходили до берегов Азовского и Черного морей. Кости зубра находили близ устья реки Камы и на Южном Урале. Зубры повсюду истреблялись. Во Франции уже в VI в. не стало зубров. Последнего зубра убили в Румынии в 1762 г., в Германии (в Саксонии) — в 1798 г., в Прибалтике (бывшей Восточной Пруссии) — в 1755 г. Зубров видели последний раз на Дону в 1709 г.

К концу XX в. зубры спаслись от людей только в лесах Беловежской пущи (Белоруссия) и Северного Кавказа. К 1921 г. в Беловежской пуще не осталось ни одного зубра, на Кавказе последний зубр был уничтожен браконьерами в 1927 г. Подобные примеры можно привести и в отношении других животных. Установлена прямая связь между увеличением численности населения Земли и числом уничтожения видов животных (рис. 17.8).



Рис. 17.7. Зубры

В Международную Красную книгу внесено 687 видов и 207 подвигов позвоночных животных, над которыми нависла угроза исчезновения (табл. 17.1). В 90-х гг. XX в. на территории России видовой состав диких животных был представлен следующим количеством видов: млекопитающие—328, птицы—720, пресмыкающиеся — 66, земноводные — 26, морские рыбы — 2400, пресноводные рыбы — около 400, водные беспозвоночные — до 12 000, насекомые — до 80 000.

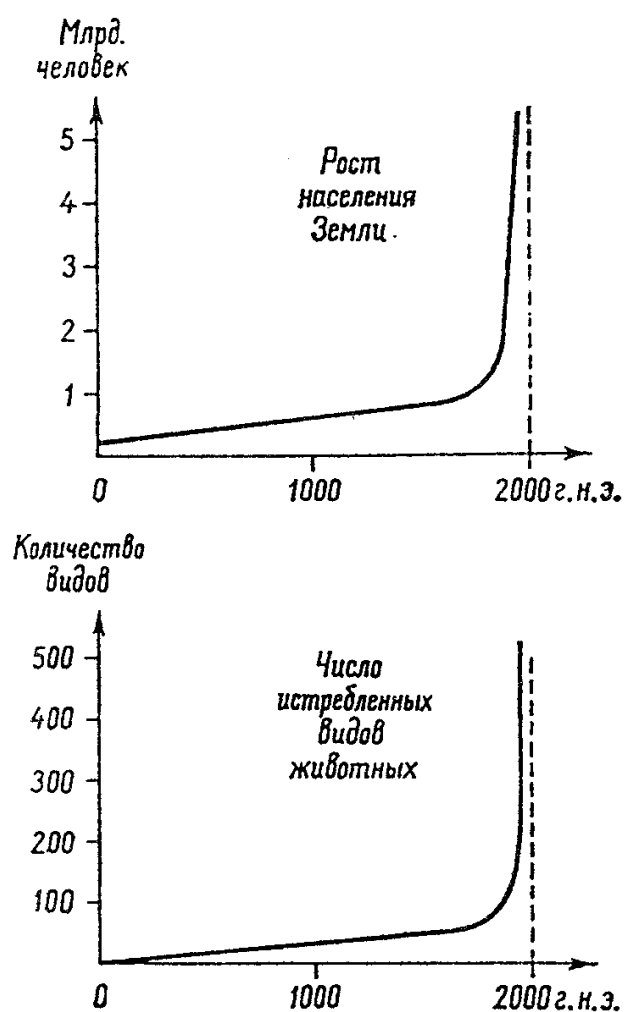


Рис. 17.8. Связь между увеличением численности населения Земли и числом уничтоженных видов животных

Таблица 17.1

Число видов и подвидов различных классов позвоночных, включенных в Международную Красную книгу фактов (1979)

Класс	Виды	Подвиды
Млекопитающие	226	79
Птицы	181	77
Рептилии	77	21
Амфибии	35	5
Рыбообразные	168	25
Всего	687	207

В Красную книгу России включено 65 видов и подвидов млекопитающих,

63 вида птиц, 21 вид рептилий, 8 видов амфибий.

Животный мир Курганской области количественно представлен 64 видами млекопитающих, 251 видом птиц, 27 видами рыбы, 8 видами земноводных (амфибий), 6 видами рептилий (пресмыкающиеся). Редкими и исчезающими только из позвоночных животных являются 95 видов, из них 70 видов птиц, 12 видов млекопитающих, 6 видов земноводных, 5 видов рыбы, 2 вида пресмыкающихся.

Из животных, обитающих в Курганской области, в Красную книгу страны занесены 50 видов, в том числе 24 вида птиц. Среди животных есть уникальные для мировой фауны виды и подвиды. Это русская выхухоль, кудрявый пеликан, орлан-белохвост и др.

Главной причиной продолжающегося исчезновения видов животных является усиление антропогенного влияния. Среди факторов, угрожающих позвоночным животным, следует назвать (рис. 17.9):

- разрушение или деградация местообитания;
- переэксплуатация;
- влияние интродуцированных видов;
- потеря, сокращение или ухудшение кормовой базы;
- уничтожение для защиты сельскохозяйственных культур, домашних животных, объектов промысла;
- случайная добыча.

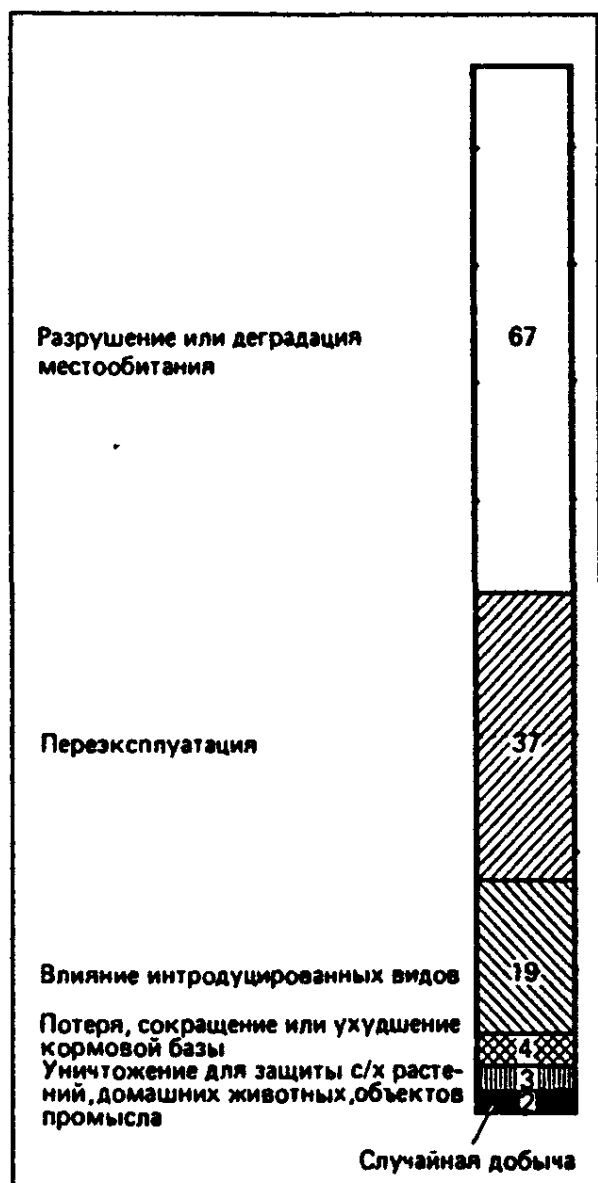


Рис. 17.9. Основные факторы, угрожающие позвоночным животным (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Это влияние по-разному сказывается как в различных районах планеты (включая и Россию), так и в отношении разных групп животных.

В России отмечается снижение численности морских промысловых млекопитающих. С 1986 по 1991 г. численность моржа снизилась с 200 до 100 тыс., морского котика — с 500 до 300 тыс., сивуча — с 250 до 50 тыс. голов, что связано с загрязнением прибрежных участков морей и сокращением кормовой базы ластоногих в результате перелова рыбы. Сокращается численность нерпы в Ладожском озере, каспийского тюленя — на Каспии. В

Азовском море имеет место массовое вселение гребневика, подорвавшего кормовую базу рыб.

Нарушение санитарных норм, существующие способы ведения сельского хозяйства и хранения продовольственных запасов привели к росту численности вредных грызунов. Стремительно расширяется ареал серой крысы, особенно в районах промышленного освоения Северного и Северо-Восточного регионов России. Грызуны уничтожают большое количество продовольствия и служат источником опасных инфекционных заболеваний. По расчетам специалистов, только в Москве серые крысы съедают и портят 60—80 тыс. т продовольствия в год. Снижается численность журавлей, хищных видов, гусеобразных (на северо-востоке России), серой куропатки, рябчика, дроф и т. д. Многие виды насекомых, и в первую очередь опылители и энтомофаги, находятся также под угрозой исчезновения.

Немало животных находятся в так называемом «экологическом лимите». Некоторые из них насчитываются лишь несколькими сотнями. Семь видов млекопитающих в наши дни существуют только в условиях зоопарка.

Трагедия диких животных не только и даже не столько в том, что на них охотятся. Бедствием стало неосторожное обращение с их владениями при непродуманных рубках лесов, осушении болот, расширении пастбищ для домашнего скота, химизация сельского хозяйства.

Интенсивное наступление человека на девственную природу отнимает у многих животных последний очаг жизненного пространства. Многочисленные туристы вытаптывают травы, разрушают подлесок — от этого больше всего страдают птицы, гнездящиеся на земле.

Ответственность каждого из нас за сохранение природы можно выразить словами И. Гете: «Природа не знает шуток, она всегда правдива, всегда строга, она всегда права. Ошибки и заблуждения исходят от людей».

17.3. Меры по охране животных

В прошлом, когда влияние человека на численность и многообразие животных было значительно меньше, чем в наше время, охрана животных могла осуществляться и на основе интуитивных знаний, например путем простого запрета или ограничения промысла. Расчет на внутренние скрытые силы природы обычно был оправдан. После снижения промысловой нагрузки численность вида, как правило, восстанавливалась. Но были известны случаи, когда простого ослабления промысла оказывалось недостаточно. Виды погибали, хотя люди старались сохранить их последних представителей. Об этом свидетельствуют такие навсегда ушедшие виды, как бескрылая гагарка, странствующий голубь, тарпан, тур и другие. Оказалось, что численность вида животных нельзя снижать ниже определенного уровня, за которым следует автоматическое вымирание вида, нередко судьба вида зависит от судьбы других видов, обитающих рядом и т. д. Отсюда возникла настоятельная необходимость *развития теории охраны фауны*. Сложность, многогранность и «многоуровневость» вовлекаемых в орбиту охраны живого процессов и

явлений такова, что в мировой науке недостаточно сложилась система принципов в этой области. При рассмотрении общих направлений исследований выделяются три подхода: первый — *экологический* — основан на принципе взаимозависимости в окружающей нас живой природе; второй — *системно-структурный* — исходит из принципа сохранения качественного многообразия живой природы; третий — *популяционно-генетический*. Свидетельствует о возможности сохранения любого вида только как системы взаимосвязанных популяций.

Общие принципы дают возможность утверждать, что жизнь может существовать только в форме сообществ живых организмов (биоценозов). Чем сложнее эти сообщества, тем они устойчивее. 1 — для сохранения жизни необходимо сохранение биоценозов. 2 — для длительного сохранения биоценозов необходимо сохранение эволюционно достигнутой сложности. Каждый вид, обладая неповторимым генофондом, является уникальным результатом эволюции. Как уже отмечалось ранее, невозможно предвидеть значение для человека того или иного генофонда в будущем. Так, виды, ранее считавшиеся вредными или бесполезными, оказываются исключительно важными и заслуживающими сохранения. Следовательно, сохранение видового многообразия, сохранение разнокачественности живой природы крайне актуально. 3 — для сохранения отдельных видов необходимо сохранение сообществ (биоценозов и экосистем), в которые входят интересующие нас виды. Виды в природе находятся в тесной взаимосвязи с другими видами. Сохранение одного лишь вида без сохранения связанных с ним видов (в цепях питания и как важных компонентов среды) невозможно. 4 — для сохранения отдельного вида необходимо сохранять или создать взаимосвязанную систему популяций внутри данного вида. Каждый вид представляет собой систему эволюционно интегрированных популяций. Вид не может длительное время существовать, будучи представлен лишь одной изолированной популяцией. 5 — малочисленные популяции всегда находятся под угрозой исчезновения и требуют особой охраны. В силу неизбежных колебаний численности небольшие по числу особей группы рано или поздно достигнут нуля. Для этого достаточно, чтобы до нуля упала численность особей лишь одного из полов (у двуполых организмов) или чтобы частота встречи особей разного пола уменьшилась настолько, чтобы не обеспечивалось продолжение рода.

Международный союз охраны природы и ее ресурсов (МСОП) при поддержке Программы ООН по окружающей среде (HNEP) и содействии Всемирного фонда охраны дикой природы (WWE) разработал *Всемирную стратегию охраны природы*. Цель, которой способствовать скорейшему и полнейшему достижению удовлетворительной охраны живых природных ресурсов, от которых зависит выживание и благосостояние человечества на Земле. «Стратегия» позволяет определить первоочередные задачи в решении проблем охраны большинства групп животных в любом районе планеты и помочь определить очередность выполнения необходимых мер по охране природы в условиях достаточно напряженного баланса сил и средств как в мировой экономике, так и на уровне отдельных стран. Одна из важнейших

задач «стратегии» — это координация усилий правительственных, общественных, национальных и международных организаций в деле охраны живых природных ресурсов.

Программа-минимум в отношении отдельных видов животных включает:

- сохранение от уничтожения любого вида;
- сохранение полного объема внутривидовой изменчивости каждого вида, что связано с сохранением достаточного числа жизнеспособных популяций;
- обеспечение возможности для каждой эксплуатируемой популяции данного вида быть восстановленной до уровня «максимально устойчивой добычи».

Главнейшим критерием для определения ценности исчезающего вида, а отсюда и критерием для выбора направлений активности в области организационных мероприятий, считается *величина возможной генетической потери*, которая вызвана его исчезновением. Если с потерей данного вида мы лишаемся целого семейства животных, то несомненно, что это более катастрофично и нежелательно, чем потеря какого-либо подвида. Отсюда при равенстве других условий вид, представляющий исчезающий отряд, имеет преимущество перед видом — представителем исчезающего семейства; вид, представляющий целое исчезающее семейство, имеет преимущество перед видом, представляющим исчезающий род; вид, представляющий исчезающий род, имеет преимущество при организации мер спасения перед видом, входящим в род, где есть другие виды, и наконец, исчезающий вид имеет преимущество перед исчезающим подвидом.

Вторым критерием при очередности мер по охране является *географический*: вид, которому грозит исчезновение, находится в тяжелом положении во всем ареале или на территории одной страны и даже отдельного региона той или иной страны.

Применение этого критерия практически означает, что виды, внесенные в Международную Красную книгу, должны иметь преимущество перед видами, включенными лишь в Красную книгу России, а виды, включенные в Красную книгу России, должны иметь преимущество перед видами, включенными в Красные книги автономных республик, регионов, краев и областей.

Третий критерий — степень опасности исчезновения данного вида. В Красной книге России выделяют пять категорий редких видов. '

1. Виды (подвиды), находящиеся под угрозой исчезновения, спасение которых невозможно без осуществления специальных мер. '

2. Виды (подвиды), численность которых еще относительно высока, но сокращается катастрофически быстро, что в недалеком будущем может поставить их под угрозу исчезновения.

3. Редкие виды (подвиды), не находящиеся под прямой угрозой вымирания, но встречающиеся в небольшом количестве или на таких ограниченных территориях, что могут вскоре исчезнуть.

4. Неопределенные виды (подвиды) — малоизвестные, недостаточно изученные, возможно, находящиеся под угрозой исчезновения, однако

недостаток сведений не позволяет отнести их к одной из первых трех категорий.

5. Восстановленные виды (подвиды), состояние которых под влиянием принятых мер охраны не вызывает более опасений. Численность их начала увеличиваться. Но они не подлежат еще промысловому использованию и состояние их по-прежнему необходимо постоянно контролировать.

При определении очередности мер охраны животных следует учитывать два фактора.

Во-первых, общее состояние вида не только в природе, но и в неволе. Если вид хорошо размножается в неволе (лошадь Пржевальского, амурский тигр и др.), то опасность его потери значительно ниже, чем видов, добиться размножения которых в неволе не удается.

Во-вторых, значение рассматриваемого вида как незаменимого компонента для формирования экологической ниши других редких или узкоспециализированных видов. Например, вид, являющийся единственным источником питания для другого организма, обладает приоритетом в плане его охраны по сравнению с аналогичным видом, не являющимся незаменимой кормовой базой.

Важная теоретическая и практическая предпосылка сохранения всего многообразия живого — принципиальный вывод о возможности сосуществования человечества со всеми без исключения формами живого. Человек не антагонистичен живому миру, и таких примеров множество. Ласточки, синицы, стрижи и другие насекомоядные птицы сотни лет являются обитателями городов, поселков и деревень во многих странах мира. С прекращением охоты водоемы городов обживают разные виды уток и даже гусей. Сокол-сапсан — крупная хищная птица — успешно гнездится на здании Московского университета на Воробьевых горах. Многие млекопитающие успешно приспосабливаются к жизни в непосредственной близости к человеку. Пример с белками, живущими в парках Москвы, на территории Новосибирского академгородка, во многих городах мира, хорошо известен. По-видимому, такого рода приспособление связано с отбором на отсутствие боязни к человеку, который произошел среди популяций животных, с одной стороны, и на использование новых источников пищи и укрытий — с другой.

Другое направление сохранения многообразия видов животных — восстановление их количественного состава с дальнейшим расселением. Ценнейший пушной зверь Сибири и Дальнего Востока — соболь — к началу XX в. стал малочисленным из-за хищнической его добычи. От широкого ареала соболя в Сибири в конце XIX в. оставались разрозненные очаги, резко снизилась численность, практически прекратился промысел. 1927 г. — начало массовых мероприятий по восстановлению соболя в Баргузинском и Кондо-Сосьвинском заповедниках. В настоящее время соболь широко распространен в Сибири и на Дальнем Востоке. Площадь ареала соболя превышает 430 млн га лесных угодий. К числу редких зверей в России до недавнего времени относился речной бобр. В начале XX столетия они встречались в немногих местах своего прошлого ареала, всего их насчитывалось около 1000 особей.

Для их восстановления в 1934 г. были организованы бобровые заповедники. В настоящее время этот вид восстановлен и расселен в 48 областях России, Белоруссии, Украины, Прибалтийских республиках и Казахстане (рис. 17.10).

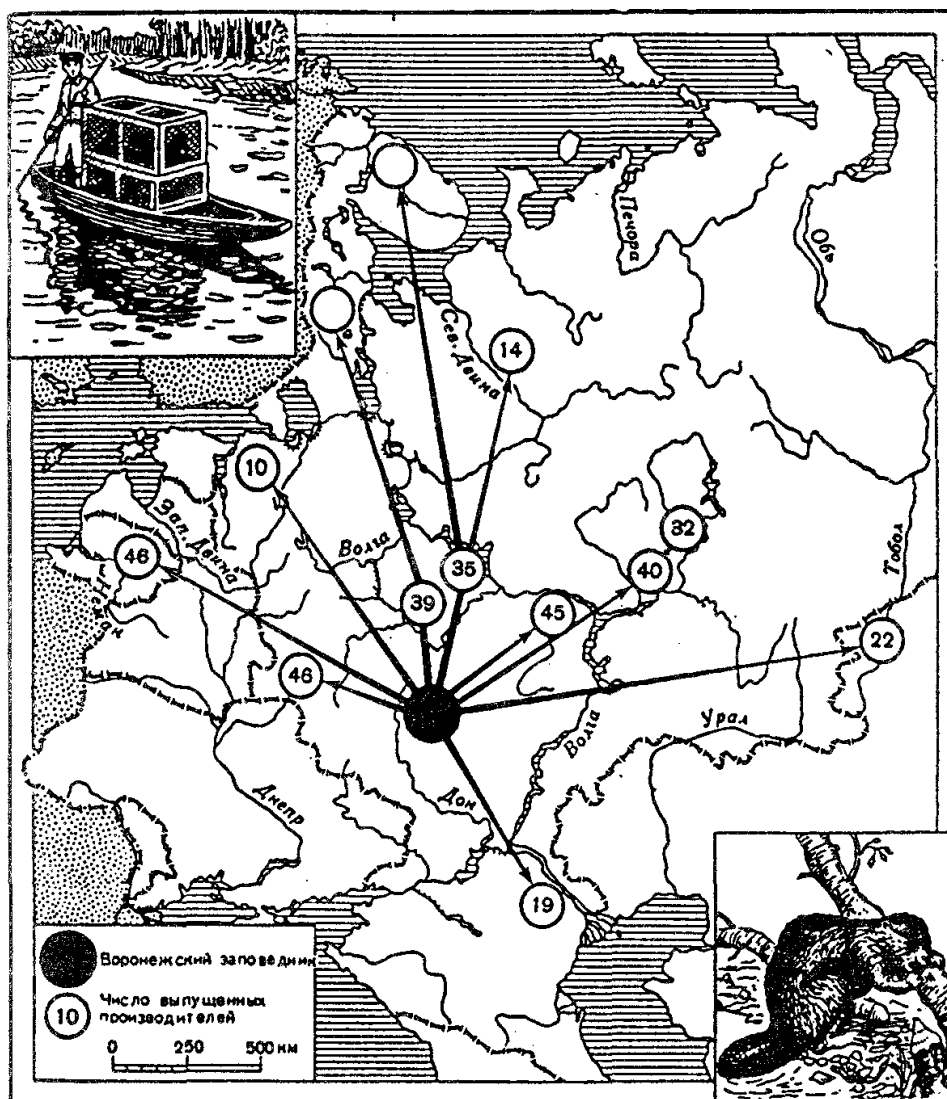


Рис. 17.9. Расселение бобра из Воронежского заповедника

В нашей стране, как уже отмечалось, последний зубр был уничтожен в 1927 году на Кавказе. В 1940 г., после 13-летнего отсутствия, 5 зубро-бизонов завезли в Кавказский заповедник. Через 4 г. их было 11, а через 12 лет — 106. С 1946 г. зубров стали разводить и на территории Беловежской пуши, а еще через 2г. — в центральном зубровом питомнике под Серпуховом, в 1955 г. — в Хо» перском, в 1956 г. — в Мордовском заповедниках. Сегодня зубров в России и странах СНГ насчитывается не менее 1000 голов.

Проводится работа по восстановлению овцебыка. От 17 молодых телок и бычков, завезенных в 1929 г. на Шпицберген, ведет начало местное стадо

овцебыков. Акклиматизация овцебыков в Норвегии началась в 1832 г., а позднее на острове Ну-нивак, в Беринговом море у берегов Аляски. В настоящее время овцебыков разводят в полудомашних условиях на фермах в Норвегии, Канаде и на Аляске. С 1974 г. проводится работа по восстановлению этого вида животного и в России. Овцебыки завезены на Чукотку, Таймырский полуостров, где они успешно акклиматизируются.

Для сохранения многообразия живого все большее значение приобретает работа по дальнейшему одомашниванию животных.

Серьезные успехи сделаны разными странами в одомашнивании копытных (лося, марала, шпрингбока, канны, гну и др.), птиц (диких индеек, глухарей, дроф, куропаток, перепелок, страусов и т. д.). Многие из перечисленных видов обладают комплексом поистине замечательных свойств. Например, шпрингбок прекрасно приспособлен к условиям пустыни Южной Африки. Питается суккулентами и растениями, ядовитыми для домашнего скота. Может несколько дней обходиться без водопоя. За первые семь месяцев жизни самка достигает 80% массы взрослой.

Во многих странах практикуется разведение на фермах крупных видов охотничьих животных, включая и экзотических. Чаще всего разводят европейскую лань и муфлонов, аксиса и пятнистого оленя, индийскую антилопу гну и других. Ранее парковое (зоопарки, зоосады, внутригородские зоны отдыха) содержание животных рассматривали, главным образом, с эстетических позиций музейно-просветительской деятельности. Роль парков в настоящее время расширяется. Они становятся не только культурно-просветительскими предприятиями, но и центрами размножения тех видов животных, численность которых в природе достигла критического состояния. Так были спасены от полного вымирания знаменитый олень Давида (милу) в Китае, гавайская казарка в Англии. После успешного размножения лошади Пржевальского в ряде зоопарков мира появилась некоторая уверенность, что этот исчезнувший в природе вид будет сохранен.

Семь форм млекопитающих существуют в наши дни только в зоопарках. Число видов, единственной эффективной мерой для сохранения которых остается содержание их в зоопарках, непрерывно растет. В нашей стране первый такой центр создан для разведения редких видов журавлей на базе Приокско-Терасного заповедника в Подмосковье. В Швеции, ФРГ, США и ряде других стран осуществляется вольерное размножение птиц (филин, сокол-сапсан) и последующий их выпуск в природу.

Для расширения видового состава рыб в естественных водоемах страны проводится их акклиматизация. Так, горбуша завезена с Сахалина на Мурманское побережье. Байкальский омуль акклиматизирован в Онежском озере. Ладожские и чудские сиги переселены в озера центральных областей России, Урала, Белоруссии, Прибалтики, Украины (рис. 17.11).

В последние годы широкое распространение получил термин «аквакультура». Так называют контролируемое производство живых организмов, обитающих в воде, главным образом для удовлетворения потребностей человека в питании. Среди важных культивируемых видов —

беспозвоночных. Например, культивирование мидий,

гребешка, трепангов на искусственно созданных банках, нагул кефалей в закрытых лиманах. Это направление получило название пастбищного рыбоводства (пастбищная марикультура, морское ранчо).

4. Выращивание рыбы и беспозвоночных в прудах и других емкостях с морской водой.

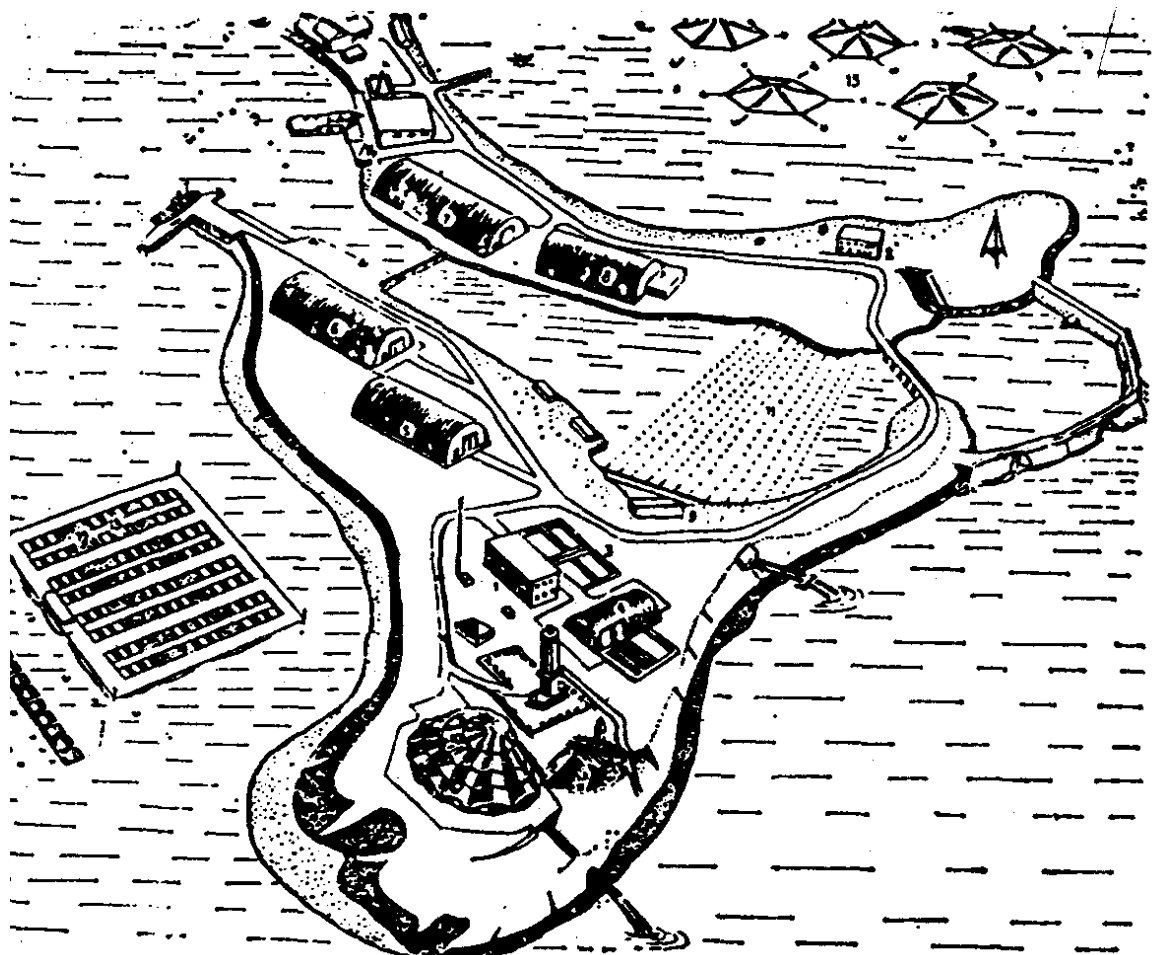


Рис. 17.11. Научно-экспериментальный комплекс марикультуры «Большой Утриш» в северо-восточной части Черного моря (по М. К. Спичаку, В. И. Чернышеву, 1984) :

1—2—лабораторные корпуса; 3—бассейн для выращивания личинок и молоди устриц; 4 — цех культивирования живых кормов; 5 — бассейны для санобработки товарных устриц; 6 — цех разведения морских рыб (кефали, камбалы и др.); 7 — цех разведения лососевых, и осетровых рыб; 8 — бассейны для производителей и молоди лососевых и осетровых рыб; 9 — морская насосная станция; 10 — морской аквариум, лекционный и дегустационный залы, учебно-методический центр; 11 — морские установки для выращивания устриц; 12 — морские установки для выращивания мидий; 13 — морские садки для выращивания ценных видов рыб; 14 — база подводных исследований, эллинг

5. Выращивание рыбы и беспозвоночных в садках, установленных в морской воде, и в установках с замкнутым типом водообеспечения.

Сохранение животного мира неразрывно связано с решением правовых вопросов, международным сотрудничеством, выполнением всех работ на

научной основе. В области охраны живой природы следует отметить следующие наиболее крупные научные задачи.

Во-первых, изучение биологии редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, а также поиск оптимальных путей их сохранения и воспроизводства.

Во-вторых, необходима дальнейшая разработка основ, сохранения природных сообществ. Это крупная проблема, выходящая за рамки охраны животного мира, в свою очередь, включает ряд более конкретных задач.

В-третьих, разработка биологических основ создания территориальных комплексных схем охраны природы.

В-четвертых, подготовка предложений об организации новых заповедников, заказников и других охраняемых территорий и акваторий.

В-пятых, оценка последствий загрязнения природной среды.

В-шестых, разработка принципов сохранения качественного разнообразия живого и генетического фонда биосферы.

В-седьмых, разработка безопасных биологических методов управления численностью видов, наносящих ущерб народному хозяйству.

В-восьмых, решение проблем правовой охраны животного и растительного мира.

В-девятых, разработка новых форм природноохранного просвещения.

18. ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДУ

18.1. Сельское хозяйство как источник продовольственных ресурсов

Человек в сельскохозяйственной деятельности, используя земельные, водные, растительные, животные и энергетические ресурсы, обеспечивает себя в первую очередь пищей, оказывая на природу большее воздействие, чем в любой другой деятельности.

В 90-х г. XX в. ежедневно в мир приходит около 250 тыс. человек, которых нужно накормить, одеть и обеспечить жильем. Ожидается, что к 2020 г. население Земли достигнет 8 млрд человек. Для того чтобы прокормить в течение ближайших/20— 25 лет такое количество людей, потребуется столько же продовольствия, сколько его было произведено с момента зарождения земледелия около 10 тыс. лет назад и до настоящего времени. Производство достаточного количества продовольствия для обеспечения населения Земли в продуктах питания является одной из многих сложных, взаимосвязанных проблем. Другая важная проблема — качество пищи, наличие в ней необходимых организму белков, витаминов, микроэлементов и т. д. Важно и управление мировыми сельскохозяйственными системами, которое должно осуществляться таким образом, чтобы свести к минимуму вредное воздействие на окружающую среду производства и распределения продовольствия.

Почва — основное средство производства в сельском хозяйстве. Начиная с VII в. до н.э. почва — основа сельскохозяйственного производства, ценнейшее богатство человечества. Почва — часть окружающей человека природной среды. Она возникла в результате сложного взаимодействия атмосферы, гидросферы, литосферы, растительного и животного мира. Писатель и агроном Сергей Залыгин писал, что уникальный плодородный слой земли — едва ли не главное чудо нашей планеты. От всех других планет Земля отличается наличием на ней почвы. Возможно, что она отличается этим от всей вообще Вселенной. Тончайший слой земли, облекая даже не всю сушу, а только часть ее, составляет ничтожные доли процента от массы и объема Земли. Но именно эти ничтожные доли — толщина почвы в среднем составляет 20 см — взаимодействуют с солнцем таким образом, что оказались возможным человек и человеческое существование, не говоря уже о многом другом, что мы

включаем в понятие природа. «Подумать только! — восклицает писатель. — Речь идет о тончайшей пленке, менее полуметра толщиной, даже не повсюду, а лишь кое-где облегающей сушу земного шара!» Почва — основа для получения урожая сельскохозяйственных культур, главное богатство, от которого зависит наше существование. Она является основным средством сельскохозяйственного производства, главным источником продуктов питания. Море и искусственные производственные площади (гидропоника, теплицы) играют значительно меньшую роль в производстве продуктов питания. Из океана человек берет около 30—40 млн т морской рыбы, беспозвоночных животных, водорослей.

На Земле сегодня насчитывается около 80 тысяч видов съедобных растений, а кормят человечество только 30 сельскохозяйственных культур. Пшеница, рис, кукуруза, картофель являются основными, дают больше продовольствия, чем все остальные культуры вместе взятые. По данным ФАО, с поверхности суши, на почвах Евразии, Австралии, Африки, Америки (без социалистических стран) ежегодно получают около 300 млн т пшеницы, такое же количество риса, 250 млн т кукурузы, 200 млн т ячменя, овса, ржи, 100 млн т сорго, проса, 300 млн т картофеля, 100 млн т фруктов, 60 млн т бобовых, 30 млн т помидоров и лука, 60 млн т чистого сахара, 20 млн т растительного масла, 100 млн т мяса, 400 млн т молока.

В России в 1990 г. было получено зерна (пшеница, рожь, овес, ячмень и др.) 113,5 млн т, сахарной свеклы 30,8 млн т, картофеля 10 млн т, овощей 7 млн т, мяса 7 млн т, молока 41,4 млн т, яиц 36,6 млрд штук.

Мировое производство продовольствия в 50—90-е гг. XX в. более чем удвоилось, а на душу населения в среднем увеличилось на 40%. Однако за успехами в мировом производстве продовольствия в этот период отмечено сокращение среднедушевого производства продовольствия в 43 развивающихся странах (22 африканские страны), в которых проживает каждый седьмой житель планеты. Тревожная тенденция — постоянное снижение темпов мирового производства продовольствия в душевых показателях в течение каждого из трех последних десятилетий. С 1950 по 1960 г. рост производства продовольствия составил 15%, с 1960 по 1970 г. — 7% и с 1970 по 1980 г. — 4%. Эта тенденция обусловлена комплексом факторов — ростом населения, антропогенным воздействием на природу и т. д.

Земельные ресурсы. Производство продуктов растениеводства и животноводства обеспечивают пашни, пастбища и сенокосы. Почвы, используемые в сельском хозяйстве под пашню, для выращивания сельскохозяйственных культур, характеризуются разным *плодородием* — способностью обеспечивать растения водой, элементами питания, воздухом и этим создавать возможность получения урожая сельскохозяйственных культур. Одним из важных показателей уровня плодородия почв является мощность гумусового слоя и содержания гумуса в почве. Гумусовый слой — это кладовая, из которой растения получают пищу в виде растворов солей. Гумус склеивает минеральные элементарные частицы в комочки, придает почве агрономически благоприятную структуру, при которой создается оптимальный режим для обеспечения растений водой и воздухом. Так, почвы Озерского

района Московской области относятся к высокому уровню плодородия при содержании гумуса: дерново-подзолистые — 2,5%, серые лесные — 3%, черноземы — 7%.

Различают два вида плодородия почв: естественное и эффективное.

Естественное плодородие определяется содержанием гумуса, валовыми запасами питательных веществ, естественным водным, воздушным и тепловым режимом. *Эффективное* плодородие определяется получением урожая благодаря не только естественным свойствам почв, но и свойством, измененным хозяйственной деятельностью человека (известкование кислых почв, внесение удобрений, мелиоративные мероприятия и т. д.).

На 10-м Международном конгрессе почвоведов, состоявшемся в 1974 г. в Москве, был подведен «баланс» земельных ресурсов нашей планеты. Он, с точки зрения земледелия, выглядит не самым лучшим образом. Скажем прямо — в целом природа и почвенный покров земного шара не очень-то благоприятны для земледелия. Пашня занимает всего 10% территории, луга и пастбища — 17% (рис. 18.1). Остальные 73% почв не используются в сельском хозяйстве. В Северной Америке на душу населения приходится 1,62 га пахотной почвы, в России — 0,88 га, Западной Европе — 0,2,

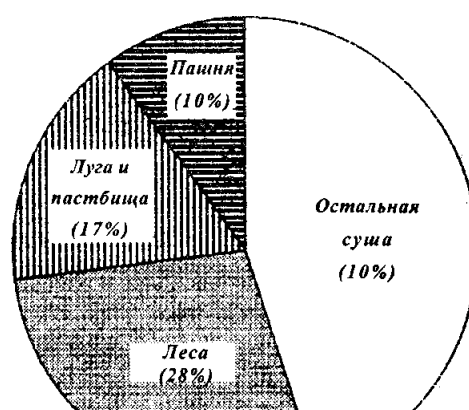


Рис. 18.1. Площади пашни, лугов и пастбищ, лесов на Земле

Западной Азии — 0,2, Восточной Азии — 0,32 га. Одновременно на площади около 30 млн км² пастбищ кормится свыше 3 млрд голов скота, а на птицефермах и в личных хозяйствах ежегодно выращивается 3 млрд индюков, гусей, уток, кур и др.

На каждого жителя Курганской области приходится около 3 га пашни.

В целом значение сельского хозяйства для человека огромно (рис. 18.2).

До появления сельского хозяйства все наземные фотосинтезирующие растения и животные могли поддерживать существование около 10 млн человек (см.рис. 18.2А). С развитием сельского хозяйства 10% земли было вспахано, удобрено, орошено человеком. В 90-х гг. XX в. эта земля обеспечивала существование более 5 млрд человек (рис. 18.2Б).

Имеются расчеты, показывающие, что в среднем на каждого нового человека планеты при существующем уровне урожайности сельскохозяйственных культур требуется 0,4—0,5 га для производства пищи и 0,1 га территории под жилище, дороги и другие несельскохозяйственные нужды. В связи с продолжающимся ростом населения на Земле проблема обеспечения его, в первую очередь, продуктами питания будет возрастать, если... если не будет роста урожайности сельскохозяйственных культур, дальнейшего освоения территорий под пашню для расширения посевных площадей.

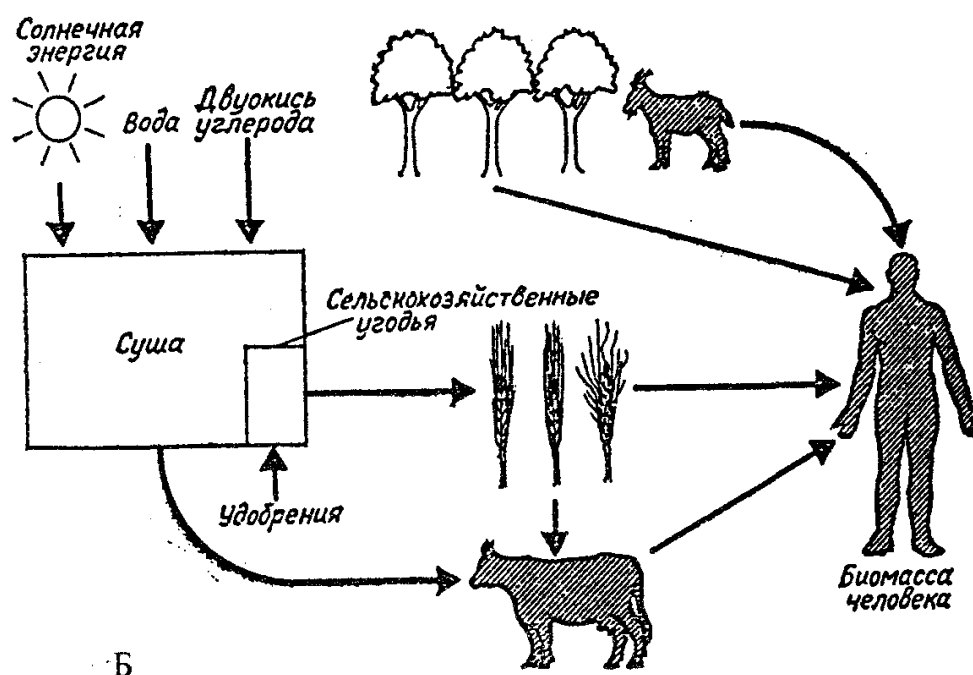
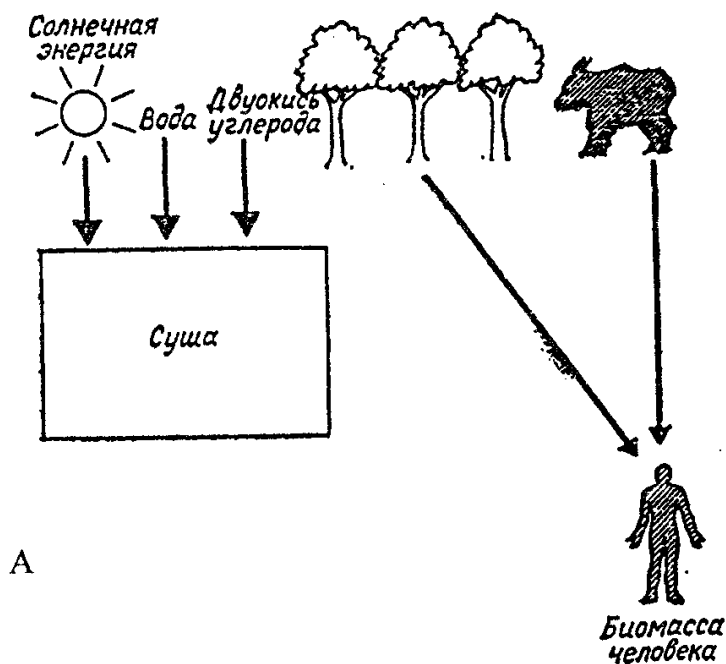


Рис. 18.2. Значение сельского хозяйства для человека
(по Ф. Рамаду, 1981)

По данным Международной организации по вопросам продовольствия (ФАО), общая площадь потенциально пригодных почв для земледелия в мире составляет около 3,2 млрд га. Сейчас в обработке находится 1,5 млрд га. Однако для включения в сельскохозяйственное производство этого резерва потребуются колоссальные вложения труда и средств (рис. 18.3).

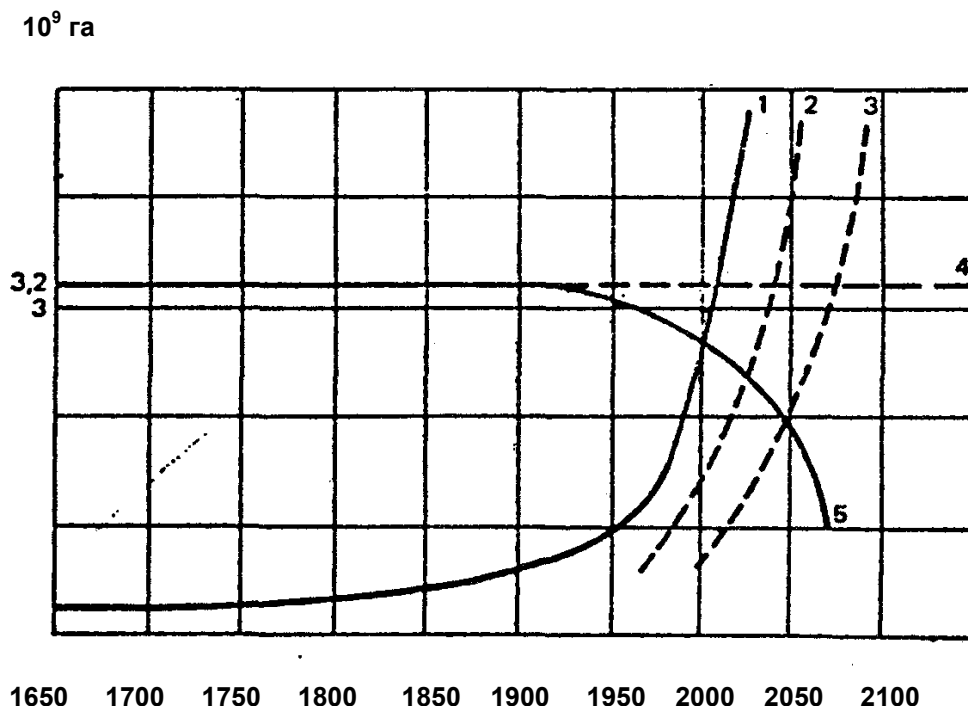


Рис. 18.3. Перспективы удовлетворения в обрабатываемых землях и реальные земли, которые можно использовать под сельскохозяйственные культуры (Meadows, 1972):

1 — площадь обрабатываемых земель, необходимая для сохранения современного уровня продуктивности; 2 и 3 — площадь обрабатываемых земель, необходимая для удвоения и учетверения продуктивности соответственно; 4 — площадь земель, пригодных для сельскохозяйственных культур; 5 — теоретическая площадь пахотных земель в мире

18.2. Влияние сельскохозяйственной деятельности человека на экологическое равновесие в природе

В течение многих веков человеку, созерцающему сельский пейзаж, казалось, что он приобщается к чему-то незыблемому, вечному. Это приносило ощущение спокойствия, умиротворения, незыблемости существования, снимало стресс. Помните стихи Ф. Тютчева:

Чудный день! Пройдут века —
Так же будут, в вечном строе,
Течь и искриться река
И поля дышать на зное.

«Пройдут века...» — эти слова вряд ли бы написал поэт в конце XX в. В процессе развития общества меняются характер и масштабы воздействия человека на природу. С возникновением оседлого сельского хозяйства в начале неолита (III—VIII в. до н.э.) воздействие человека на биосферу по сравнению с кочевым хозяйством увеличивается во много раз. В освоенных человеком

районах начинается быстрый рост населения. Разрабатываются приемы и способы обработки земли для возделываемых культур, совершенствуется технология содержания скота. Прошедшие преобразования называют *второй технической революцией*. Развитие сельского хозяйства во многих случаях сопровождалось полным искоренением первоначального растительного покрова на обширных пространствах, освобождалось место для незначительного количества видов растений, отобранных человеком, наиболее пригодных для питания. Эти виды растений постепенно окультуривались и организовывалось их постоянное возделывание.

Распространение сельскохозяйственных культур оказало огромное, нередко катастрофическое влияние на наземные экосистемы. Уничтожение лесов на обширных территориях, нерациональное использование земель умеренных и тропических зон безвозвратно разрушило исторически сложившиеся здесь экосистемы. Вместо естественных биоценозов, экосистем, ландшафтов появились агросфера, агроэкосистемы, агроценозы, аграрные ландшафты и т. д.

Агросфера — глобальная система, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека.

Агроэкосистемы — экосистемы, измененные человеком в процессе сельскохозяйственного производства. Это сельскохозяйственные поля, огороды, сады, виноградники, полезащитные лесные полосы и т. д. Основой агроэкосистем являются агроценозы.

Агроценозы — биоценозы на землях сельскохозяйственного пользования, созданные с целью получения сельскохозяйственной продукции, регулярно поддерживаемые человеком биотические сообщества, обладающие малой экологической надежностью, но высокой продуктивностью (урожайностью) одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных.

Аграрный ландшафт — экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного и т. д.).

Агроэкосистемы до начала XX в. по М.С. Соколову и др. (1994) были еще достаточно разнообразны: целинные земли, леса, ограниченные районы многоотраслевого оседлого хозяйства характеризовались незначительным изменением мест обитания. Агроэкосистемы имели своих первичных производителей (дикорастущие растения), которыми человек питался непосредственно или косвенно через дичь, домашних животных. Первичные производители- автотрофы обеспечивали человека растительным волокном, лесоматериалами. Человек являлся основным консументом этой экосистемы, в которой имелось также значительное число диких и домашних животных, обладающих большой суммарной массой. Вся потребляемая человеком продукция трансформировалась в отходы (отбросы), разрушаемые и перерабатываемые редуцентами или деструкторами до простых веществ (нитраты, фосфаты, другие минеральные соединения), которые вновь использовались автотрофами в процессе фотосинтеза (рис. 18.4).

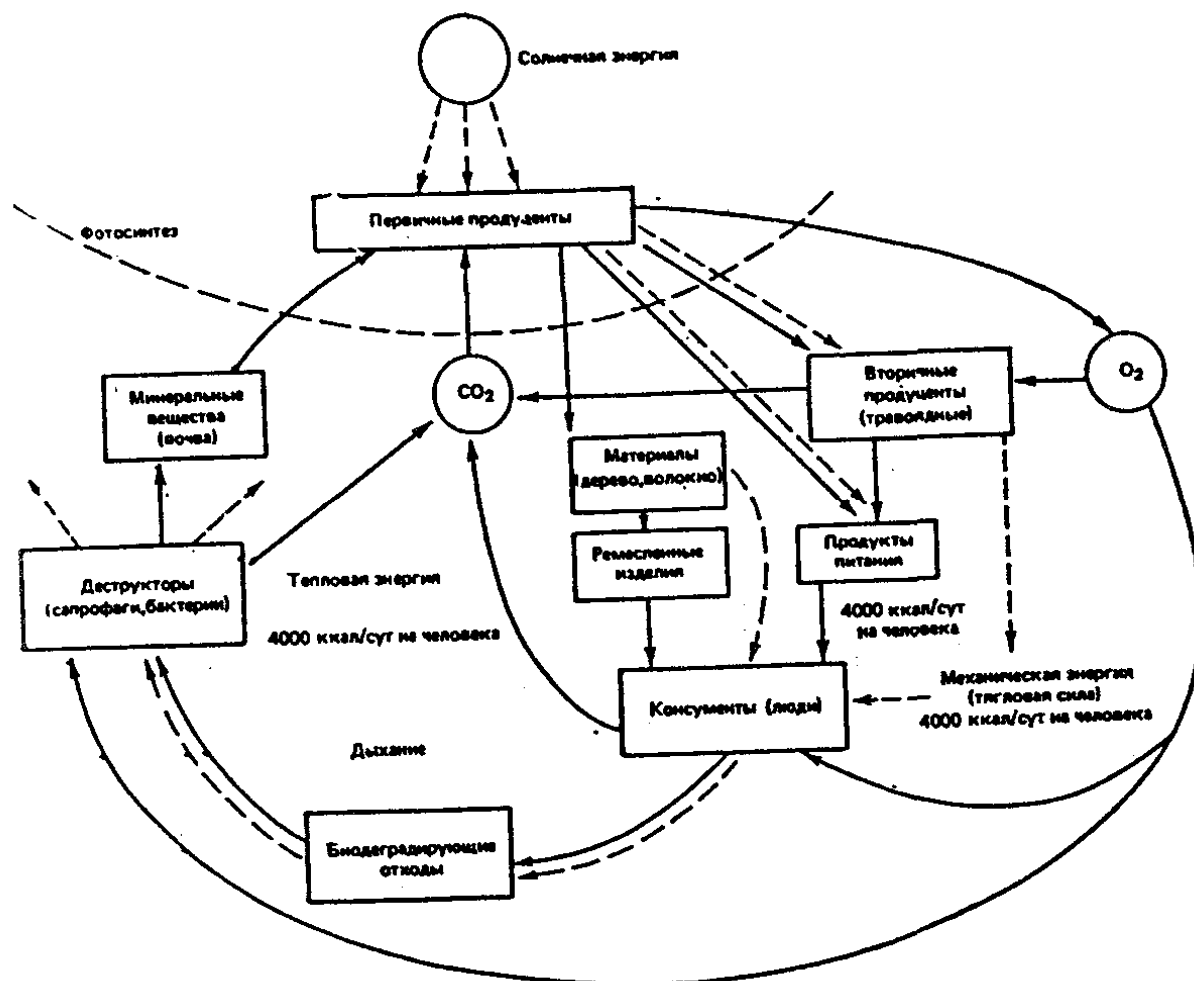


Рис. 18.4. Поток энергии и круговорот вещества в аграрной цивилизации (по Ф. Рамаду, 1981)

Самоочищение земель и вод здесь осуществлялось полностью, и круговорот веществ в экосистеме не нарушался. Приток солнечной энергии, получаемой человеком в виде химической энергии в процессе обмена веществ при питании (около 4000 ккал/сут. на одного человека), равнялся примерно такому же количеству энергии, которую человек использовал в виде тепловой (сжигание дров) и механической (тяговая сила) энергии.

До XIX в. в процессе аграрной цивилизации использовалась энергия, которая была накоплена в течение одного вегетационного периода первичными консументами, а также аккумулированная в течение многих лет деревьями. Общее же количество используемой одним человеком энергии (около 22 000 ккал/сут.) лишь вдвое превышало энергопотребление человеком неолита (около 10 000 ккал/сут.).

Таким образом, при становлении аграрной цивилизации экосистема человека имела высокий уровень гомеостаза. Несмотря на антропогенное изменение или замещение экосистем, деятельность человека вписывалась в биогеохимический круговорот и не изменяла притока энергии в биосферу.

Необратимые, глобальные изменения биосферы Земли под влиянием

сельскохозяйственного производства резко усилились в XX в. В 70—90-х гг. XX в. внедрение *интенсивных технологий* (монокультура, высокопродуктивные, но незащищенные сорта, агрохимикаты) сопровождалось водной и ветровой эрозией, вторичным засолением, почвоутомлением, деградацией почв, обеднением эдафона и мезофауны, уменьшением лесистости, увеличением распаханности и т. д.

18.3. Энергопотребление, функционирование и биопродуктивность агроэкосистем

Ранее нами было рассмотрено (глава 4.1), что каждую минуту на 1 см^2 верхнего слоя земной атмосферы поступает 2 калории солнечной энергии — так называемая *солнечная постоянная*, или *константа*. Использование растениями световой энергии относительно невелико. Только небольшая часть солнечного спектра, так называемая ФАР (фотосинтетически активная радиация с длиной волны 380—710 нм, 21—46% солнечной радиации) используется в процессе фотосинтеза. В зоне умеренного климата на сельскохозяйственных землях КПД фотосинтеза не превышает 1,5—2%, а чаще всего он равен 0,5%.

В развивающемся мировом сельском хозяйстве различаются по количеству поступающей и используемой человеком энергии и ее источнику несколько типов экосистем (М.С. Соколов и др 1994).

1. *Естественные экосистемы*. Единственным источником энергии является солнечная (океан, горные леса). Эти экосистемы представляют собой основную опору жизни на Земле (приток энергии в среднем $0,2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$).

2. *Высокопродуктивные естественные экосистемы*. Кроме солнечной, используются другие естественные источники энергии (каменный уголь, торф и т. д.). К ним относятся лиманы, дельты крупных рек, влажные тропические леса и другие естественные экосистемы, обладающие высокой продуктивностью. Здесь в избытке синтезируется органическое вещество, которое используется или накапливается (приток энергии в среднем $2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$).

3. *Агроэкосистемы, близкие к естественным экосистемам*. Наряду с солнечной энергией используются дополнительные источники, создаваемые человеком. Сюда относятся системы сельского и водного хозяйства, которые производят продовольствие и сырье. Дополнительные источники энергии — ископаемое топливо, энергия обмена веществ людей и животных (приток энергии в среднем $2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$).

4. *Агроэкосистемы интенсивного типа*. Связаны с потреблением больших количеств нефтепродуктов и агрохимикатов. Они более продуктивны в сравнении с предыдущими экосистемами, отличаясь высокой энергоемкостью (приток энергии в среднем $20 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$).

5. *Промышленные (городские) экосистемы*. Получают готовую энергию (газ, уголь, электричество). К ним относятся города, пригородные и промышленные зоны. Они являются как генераторами улучшения жизни, так и источниками загрязнения среды (поскольку прямая солнечная энергия не

используется):

Эти системы биологически связаны с предыдущими. Промышленные экосистемы очень энергоемкости (приток энергии в сред- нем $200 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$).

Основные отличительные особенности функционирования природных экосистем и агроэкосистем.

1. *Разное направление отбора.* Для природных экосистем характерен естественный отбор, который ведет к фундаментальному их свойству — устойчивости, отменяя неустойчивые, нежизнеспособные формы организмов их сообществ.

Агроэкосистемы создаются и поддерживаются человеком. Главным здесь является искусственный отбор, который направлен на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Нередко урожайность сорта не связана с его устойчивостью к факторам окружающей среды, вредными организмами.

2. *Разнообразие экологического состава фитоценоза* обеспечивает устойчивость продукционного состава в естественной экосистеме при колебании в различные годы погодных условий. Угнетение одних видов растений приводит к повышению продуктивности других. В результате фитоценоз и экосистема в целом сохраняет способность к созданию определенного уровня продукции в разные годы.

Агроценоз полевых культур — сообщество монодоминантное, а нередко и односортовое. На всех растениях агроценоза действие неблагоприятных факторов отражается одинаково. Не может быть компенсировано угнетение роста и развития основной культуры усиленным ростом других видов растений. И как результат, устойчивость продуктивности агроценоза ниже, чем в естественных экосистемах.

3. Наличие разнообразия видового *состава растений с различными фенологическими ритмами* дает возможность фитоценозу как целостной системе осуществлять непрерывно в течение всего вегетационного периода продукционный процесс, полно и экономно расходуя ресурсы тепла, влаги и питательных элементов.

Период вегетации культивируемых растений в агроценозах короче вегетационного сезона. В отличие от естественных фитоценозов, где виды различного биологического ритма достигают максимальной биомассы в разное время вегетационного сезона, в агроценозе рост растений одновременен и последовательность стадий развития, как правило, синхронизирована. Отсюда, время взаимодействия фитоком-понента с другими компонентами (например, почвой) в агроценозе намного короче, что, естественно, сказывается на интенсивности обменных процессов в целой системе.

Разновременность развития растений в естественной (природной) экосистеме и одновременность их развития в агроценозе приводят к различному ритму продукционного процесса. Ритм продукционного процесса, например, в естественных лугопастбищных экосистемах, задает ритм деструкционным процессам или определяет скорость минерализации растительных остатков и время ее максимальной и минимальной

интенсивности. Ритм деструкционных процессов в агроценозах в значительно меньшей степени зависит от ритма продукционного процесса, ввиду того что наземные растительные остатки поступают на почву и в почву на короткий промежуток времени, как правило, в конце лета и в начале осени, а их минерализация осуществляется главным образом на следующий год.

4. Существенным различием естественных экосистем и агроэкосистем является *степень скомпенсированности круговорота* веществ внутри экосистемы. Круговороты веществ (химических элементов) в естественных экосистемах осуществляются по замкнутым циклам или близки к скомпенсированности: приход вещества в цикл за определенный период в среднем равен выходу вещества из цикла, а отсюда внутри цикла приход вещества в каждый блок приблизительно равен выводу вещества из него (рис. 18.5).

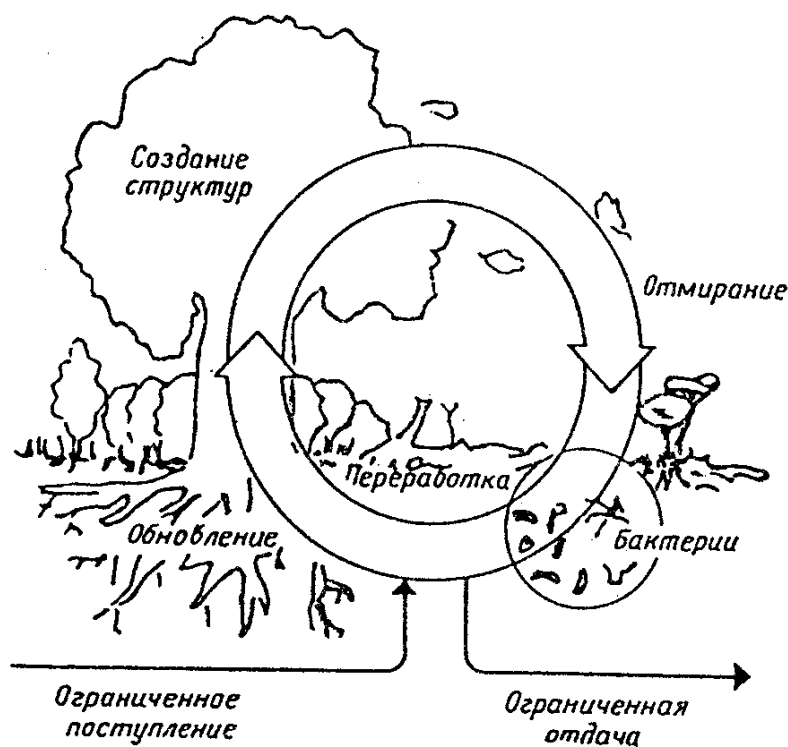


Рис. 18.5. Круговорот питательных веществ в естественной экосистеме (по А. Тарабрину, 1981)

Антропогенные воздействия нарушают замкнутость круговорота веществ в экосистемах (рис. 18.6).

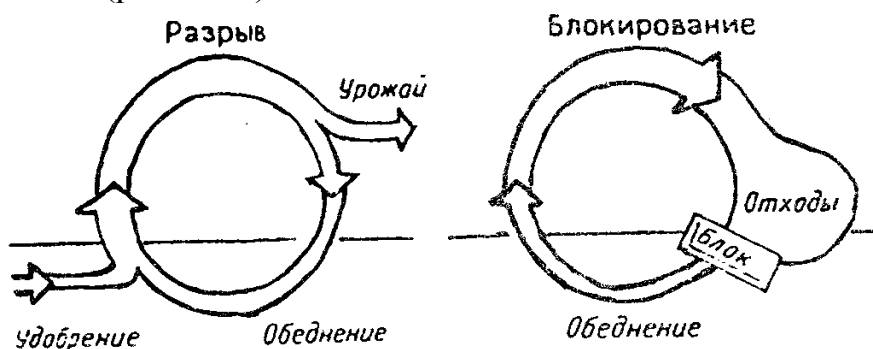


Рис. 18.6. Круговорот питательных веществ в агроэкосистеме (по А. Тарабрину, 1981)

Часть вещества в агроценозах безвозвратно изымается из экосистемы. При высоких нормах внесения удобрений для отдельных элементов может наблюдаться явление, когда величина входа элементов питания в растения из почвы оказывается меньше величины поступления элементов питания в почву из разлагающихся растительных остатков и удобрений. С хозяйственно полезной продукцией в агроценозах отчуждается 50—60% органического вещества от его количества, аккумулированного в продукции.

5. Природные экосистемы являются системами, если можно так выразиться, *авторегуляторными*, а агроценозы — *управляемые человеком*. Для достижения своей цели человек в агроценозе изменяет или контролирует в значительной мере влияние природных факторов, дает преимущества в росте и развитии, главным образом компонентам, которые продуцируют пищу. Основная задача в связи с этим — найти условия повышения урожайности при минимализации энергетических и вещественных затрат, повышении почвенного плодородия. Решение данной задачи состоит в наиболее полном использовании агрофитоценозами природных ресурсов и создании скомпенсированных циклов химических элементов в агроценозах. Полнота использования ресурсов определяется генетическими особенностями сорта, продолжительностью вегетации, неоднородностью компонентов в совместных посевах, ярусностью посева и т. д.

Следовательно, делает вывод М.С. Соколов и др. (1994), самый строгий контроль состояния агроэкосистем, который требует значительных затрат энергии, можно осуществить только в закрытом пространстве. К данной категории относят *полуоткрытые системы* с весьма ограниченными каналами сообщения с внешней средой (теплицы, животноводческие комплексы), где регулируются и в значительной степени контролируются температура, радиация, круговорот минеральных и органических веществ. Это — *управляемые агроэкосистемы*. Все другие агроэкосистемы — *открытые*. Со стороны человека эффективность контроля тем выше, чем они проще.

В *полуоткрытых* и *открытых* системах усилия человека сводятся к обеспечению оптимальных условий роста организмов и строгому биологическому контролю за их составом. Исходя из этого возникают следующие практические задачи:

- во-первых, по возможности полное устранение нежелательных видов;
- во-вторых, отбор генотипов, обладающих высокой потенциальной продуктивностью.

В целом круговорот веществ связывает различные виды, населяющие агроэкосистемы (рис. 18.7).

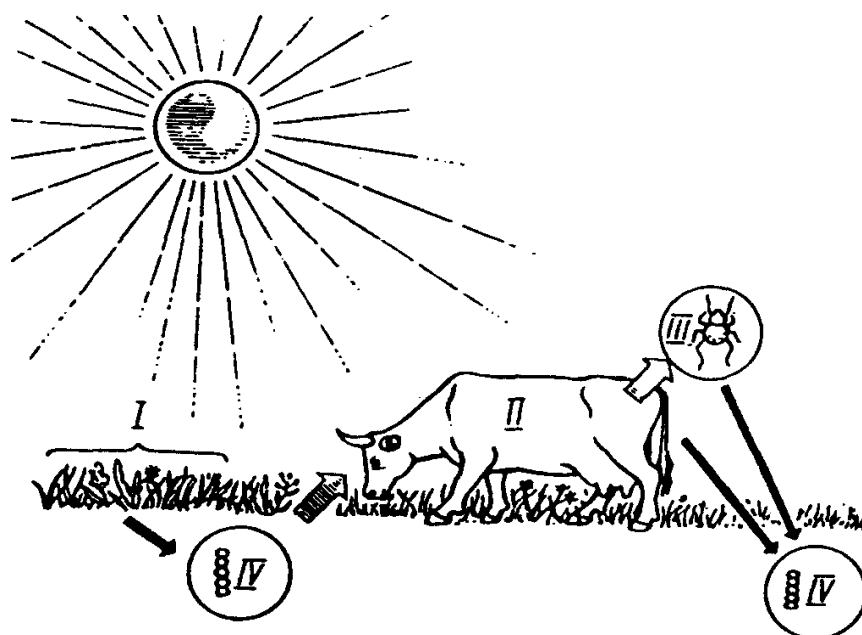


Рис. 18.7. Поток энергии в пастбищной агроэкосистеме
(по Н.А. Уразаеву и др., 1996) :

Примечание: белыми стрелками показана миграция веществ от продуцентов к первичным и вторичным консументам, черными — минерализация органических остатков растений и животных

Автотрофные организмы — продуценты, главным образом травы (I); первичные консументы, большей частью сельскохозяйственные животные (II); вторичные консументы — паразиты и микроорганизмы (III) и организмами-редуцентами являются грибы и микробы (IV). Отдельные живые организмы (животные) по отношению к звеньям трофической цепи было бы неправильным рассматривать только как консументы, а микроорганизмы как исключительно редуценты и деструкторы. Утилизируя органические соединения, животные разлагают их до простейших соединений — аммиака, мочевины, углекислого газа, воды или выступают как редуценты. Микроорганизмы, поедаемые хищными простейшими, выступают как пищевой субстрат и источник энергии для консументов и т. д.

В биосфере многие циркулирующие вещества биогенного происхождения одновременно являются и носителями энергии. Растения в процессе фотосинтеза превращают лучистую энергию Солнца в энергию химических связей органических веществ и накапливают ее в форме углеводов — потенциальных энергоносителей. Данная энергия включается в круговорот питания от растений через фитофаги к консументам более высоких порядков. Количество связанной энергии по мере движения по трофической цепи постоянно уменьшается, так как значительная ее часть расходуется для поддержания жизненных функций консументов. Благодаря круговороту энергии в экосистеме поддерживается разнообразие форм жизни, а система сохраняет устойчивость.

По М.С. Соколову и др. (1994) расход фотосинтетической энергии растений в агроэкосистеме на примере лугопастбищных угодий средней полосы России выглядит следующим образом:

— около $1/6$ части используемой растениями энергии расходуется на дыхание;

— около $1/4$ части энергии поступает в организм растительноядных животных. При этом 50% ее оказывается в экскрементах и трупах животных;

— в целом вместе с отмершими растениями и фитофагами около $3/4$ первоначально поглощенной энергии содержится в мертвом органическом веществе и немногим более $1/4$ исключается из экосистемы при дыхании в форме тепла.

Еще раз отметим, что поток энергии в пищевой цепи агроэкосистемы подчиняется закону превращения энергии в экосистемах, так называемому *закону Линдемана*, или *закону 10%*. По закону Линдемана, только часть энергии, поступившей на определенный трофический уровень агроценоза (биоценоза), передается организмам, находящимся на более высоких трофических уровнях (рис. 18.8).

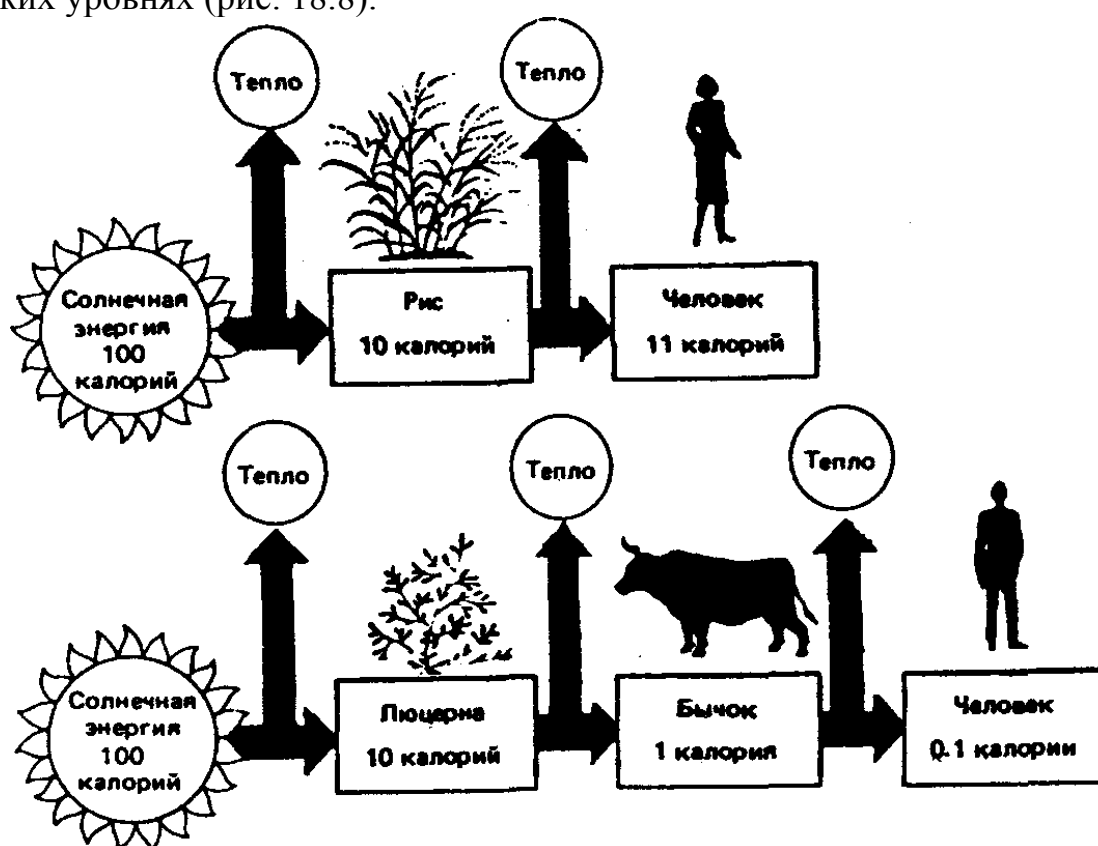


Рис. 18.8. Потери энергии в пищевой цепи (по Т. Миллеру, 1994)

Передача энергии с одного уровня на другой происходит с очень малым КПД. Этим объясняется ограниченное количество звеньев в пищевой цепи независимо от того или иного агроценоза.

Количество энергии, продуцируемое в конкретной природной экосистеме, является довольно стабильной величиной. Благодаря способности экосистемы производить биомассу, человек получает необходимые ему пищевые и многие технические ресурсы. Как уже было отмечено, проблема обеспечения численно растущего человечества пищей — это главным образом

проблема повышения продуктивности агроэкосистем (сельского хозяйства),
рис. 18.9.

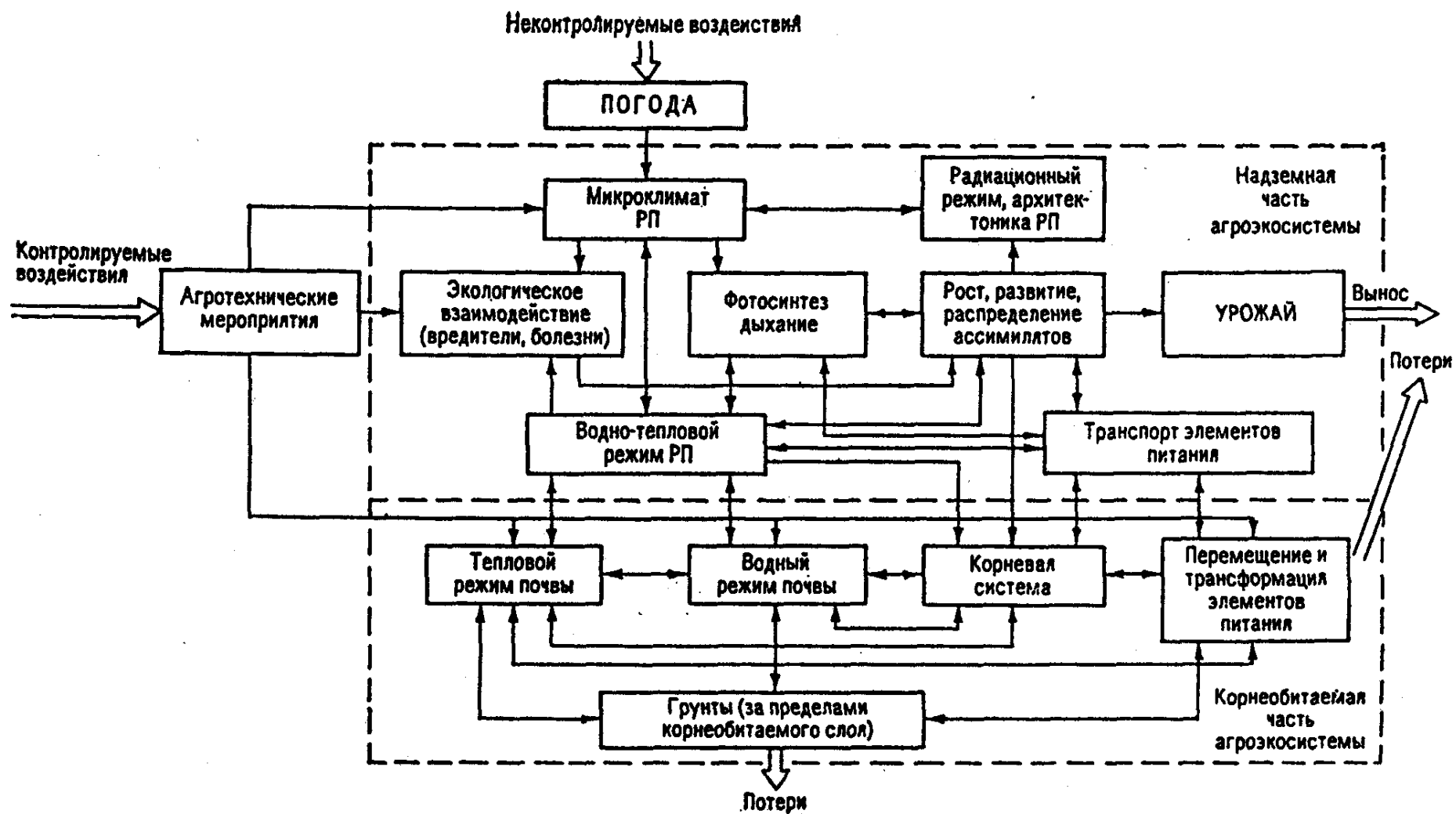


Рис.18.9. Блок-схема продуктивности агроэкосистем

Воздействие человека на экологические системы, связанное с их разрушением или загрязнением, непосредственно ведет к прерыванию потока энергии и вещества, а значит, и к снижению продуктивности. Поэтому первая задача, стоящая перед человечеством, — предотвращение снижения продуктивности агроэкосистем, а после ее решения может быть решена и вторая важнейшая задача — повышение продуктивности.

В 90-х гг. XX в. годовая первичная продуктивность обрабатываемых земель на планете составляла 8,7 млрд т, а запас энергии — $14,7 \cdot 10^{17}$ кДж.

18.4. Отношения организмов в агроэкосистемах

Составными частями агроэкосистемы являются сельскохозяйственные угодья, на которых выращиваются зерновые, пропашные, кормовые и технические культуры, а также луга и пастбища. Основными элементами агробиоценоза в аграрных экосистемах являются (по М. В. Маркову, 1972):

1. Культурные растения, высеянные или высаженные человеком.
2. Сорные растения, которые проникли в агробиоценоз помимо, а иногда и вопреки воле человека.
3. Микроорганизмы ризосфер культурных и сорных растений.
4. Клубеньковые бактерии на корнях бобовых, связывающие свободный азот воздуха.
5. Микоризообразующие грибы на корнях высших растений.
6. Бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, свободно живущие в почве.
7. Беспозвоночные животные, живущие в почве и на растениях.
8. Позвоночные животные (грызуны, птицы и др.), живущие в почве и посевах.
9. Грибы, бактерии, вирусы — паразиты (полупаразиты) культурных и сорных растений.
10. Бактериофаги — паразиты микроорганизмов.

Агроэкосистема обладает биологической продуктивностью или биологической емкостью.

Размер популяций отдельных входящих в них видов колеблется из-за постоянных изменений абиотических и биотических факторов. К факторам, оказывающим влияние на плотность популяции вида, относится *межвидовая конкуренция в отношении пищи и пространства*. Межвидовая конкуренция возникает главным образом тогда, когда у разных видов имеются одинаковые или близкие к условиям среды требования. При увеличивающемся недостатке средств существования конкуренция усиливается. Обычно плотность популяций различных групп организмов в агроэкосистеме поддерживается на оптимальном уровне. В агрофитоценозе регулирование плотности популяций проявляется в виде внутривидовой конкуренции растений, и как результат, устанавливается их относительная оптимальная плотность на занятой территории. Например, число растений клевера на 1 м^2 к моменту уборки покровной культуры составляет 400

шт./м². В следующем году к началу вегетации оно может снизиться до 150—200 шт./м², что создает наиболее благоприятные условия для формирования урожая. Регуляция плотности растительного покрова также происходит под влиянием таких факторов, как плотность листовой поверхности, выраженная через *индекс ассимилирующей поверхности*. Обостряется конкуренция при высокой плотности листовой поверхности. Так как не все растения получают достаточное количество света, более слабые подавляются. Следовательно, между особями одного и того же вида наблюдается внутривидовая конкуренция. Величина популяции вида ограничивается величиной необходимых для ее жизни ресурсов окружающей среды.

Межвидовая конкуренция растений не приводит к полному вытеснению менее конкурентоспособного вида. Как процесс борьбы между культурными и сорными растениями, проявляется межвидовая конкуренция в открытой агроэкосистеме. На лугах и пастбищах такая форма конкуренции преобладает. Растительные сообщества здесь характеризуются типичными особенностями, свойственными данной территории. Посевы культурных растений в агрофитоценозе являются единственным источником питания для травоядных животных и насекомых-фитофагов. В благоприятные для роста растений периоды популяции продуцентов могут резко и быстро увеличиваться. Обычно наносит большой ущерб сельскохозяйственным культурам массовое размножение травоядных и насекомых-фитофагов. Естественное регулирование численности травоядных животных, насекомых-фитофагов и доведение их популяций до экономически безвредного порога путем использования их естественных врагов-хищников сложно и не всегда дает хорошие результаты. Отсюда в сельскохозяйственной практике искусственное вмешательство и регулирование численности фитофагов осуществляется за счет использования *различных искусственных средств защиты*.

Анализ основных трофических цепей в агроэкосистеме обычно показывает, что биофаги (фитофаги, хищники, паразиты) активно влияют на собственную численность путем частичного использования или разрушения предшествующего звена трофической цепи, которое служит им источником энергии. Биофаги путем преобразования поглощенных веществ создают специфические источники энергии для последующих звеньев: ткани собственного тела — для биофагов, экскременты — для капрофагов, трупы — для некрофагов. Таким образом, *биофаги* (сапрофаги) пассивно определяют энергетический обмен у сменяющих их консументов. Совместная и многосторонняя деятельность самых разных организмов экосистемы, в первую очередь гетеротрофов, препятствует длительному накоплению мертвого органического вещества с заключенной в нем химической энергией.

Под влиянием фитофагов снижение продуктивности растений не всегда пропорционально количеству потребляемой ими пищи, их доминированию или биомассе, а обусловлено характером повреждения автотрофов, их возрастом и состоянием. Например, если фитофаг нападает на молодое растение, то в некоторых случаях наносится больший ущерб, чем при питании на взрослых растениях (крестоцветные блошки и др.). Напротив, в других случаях молодые растения успешнее способны компенсировать ущерб за счет образования новых побегов или более интенсивного роста здоровых побегов, чем растения, пострадавшие в более

поздние сроки. Нередко ущерб, причиненный животными, уравнивается приносимой ими пользой. Так, грачи при выкармливании потомства уничтожают вредителей сельскохозяйственных культур, и в то же время могут наносить ущерб, повреждая всходы кукурузы, зерновых культур.

В целом же следует еще раз отметить, что в агроэкосистемах пищевые цепи вовлечены в сферу деятельности человека. В них изменена экологическая пирамида. На вершине экологической пирамиды стал человек (рис. 18.10).

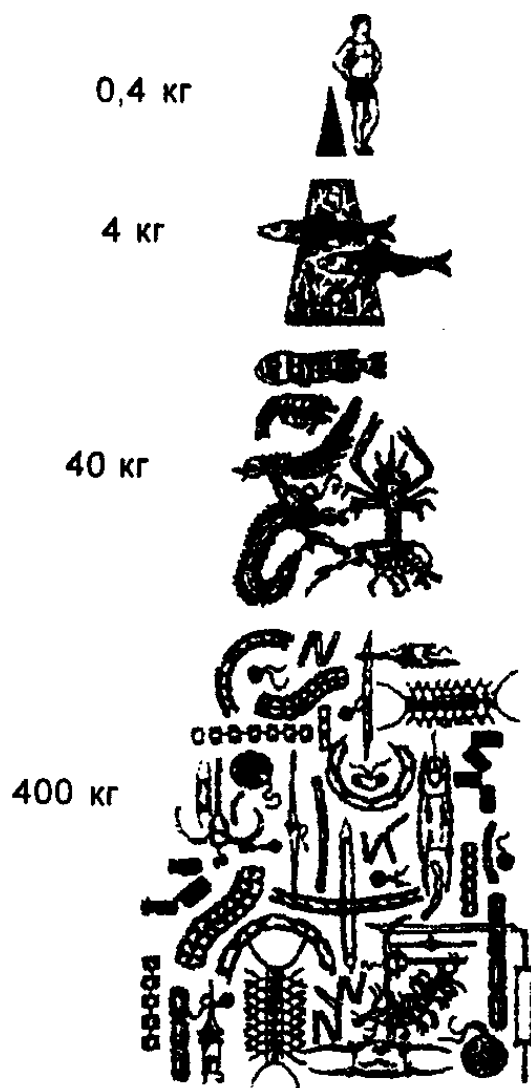


Рис. 18.10. Пищевая пирамида (по П. Фарбу, 1971)

Пояснения: при переходе от одного трофического уровня к другому происходит потеря 9/10 живого веса. Так, из 400 кг растительного планктона можно получить 40 кг животного планктона и соответственно 4 кг рыбы — количество, необходимое человеку, чтобы прибавить в весе на 0,4 кг.

Своеобразие экологической пирамиды, на вершине которой находится человек, — специфический признак любой агроэкосистемы. В агро-экосистемах видовой состав растений и животных обеднен. Аграрные экосистемы малокомпонентны. Малокомпонентность также один из признаков агроэкосистемы.

18.5. Ландшафтная организация агроэкосистем

В конце XX в. наиболее широкое распространение получило следующее определение ландшафта. *Ландшафт — это имеющий естественные границы участок зеленой поверхности, в пределах которого все природные компоненты (горные породы, рельеф, воды, почвы, растительный и животный мир) образуют взаимосвязанное и исторически взаимообусловленное единство.* При этом каждый ландшафт характеризуется также определенным уровнем прихода разных видов энергии и параметрами атмосферно-климатических процессов, показателями и динамикой круговорота веществ. Классификация ландшафтов по А.А. Иноземцову, Ю.А. Щербакову (1988) построена на основе зональных и аazonальных признаков в дифференции природы поверхности суши (рис. 18.11).

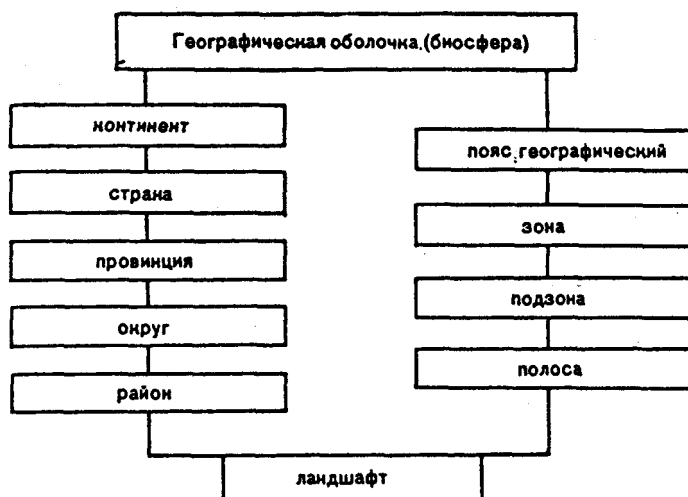


Рис. 18.11. Соотношение таксономических единиц физико-географического районирования суши (по А. А. Иноземцеву, Ю. А. Щербакову, 1988)

Полная система классификации ландшафтов, основанная на учете , как зональных, так и аazonальных признаков, строится по принципу:

страна → зона → провинция → подзона и т. д., т. е. путем чередования единиц, выделенных на основании зональных и аazonальных признаков. Основные показатели потенциала возобновимых ресурсов по некоторым типам равнинных ландшафтов европейской части России представлены в табл. 18.1.

В основе формирования потенциала возобновимых ресурсов лежит соотношение обеспеченности ландшафта теплом и влагой. По мере продвижения с севера на юг происходит нарастание тепловых ресурсов, увеличивается и биопродуктивность ландшафтов.

Таблица 18.1

Основные показатели потенциала возобновимых ресурсов по некоторым типам равнинных ландшафтов европейской части России

(по Н. Ф. Винокуровой и др., 1994)

Типы ландшафтов	Годовая солнечная радиация МДД, С/м ²		Сумма активны х Т °С	Среднего овые осадки, ММ	Среднего довой сток, ММ	Годовая биопродук тивность, т/га
	Суммар- ная	прямая				
1. Арктические	2500	1800	-	200	150	0,2
2. Аркотундровые	2700	900	-	250	150	1,5
3. Тундровые евросибирские	2900	1100	-	325	175	2,5
4. Лесотундровые	3000	1200	700	600	350	4,0
5. Северотаежные	3100	1400	1100	600	300	5,0
6. Среднетаежные	3200	1500	1450	650	300	6,5
7. Южнотаежные	3400	1700	1750	675	275	9,0
8. Подтаежные	3700	1800	2000	700	200	11,0
9. Широколиствен ные лесные	4000	2000	2300	650	125	13,0
10. Лесостепные	4100	2000	2500	600	100	15,0
11. Северостепные	4400	2300	2800	500	60	12,0
12. Южностепные	4600	2500	3200	450	20	8,0

Антропогенный ландшафт, в современном понимании, — это ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека настолько, что изменена связь природных (экологических) компонентов в степени, ведущей к сложению нового по сравнению с ранее существующим на этом месте природным комплексом.

Антропогенное преобразование природных ландшафтов в аграрные происходило в течение тысячелетий.

По А. Н. Каштанову и др. (1988), зарождение земледелия на территории России относится к более позднему периоду времени, чем в странах Древнего Востока и юга Азиатского материка. Объясняется это длительным периодом оледенения территории нашей страны, которое доходило до южных районов Украины, гор Памира и Тянь-Шаня. Появление здесь растительности и животных происходило по мере таяния ледников и отступления их на север. Постепенно русские равнины с юга стали заселяться человеком, появились зачатки земледелия.

Первыми системами земледелия были *примитивные* — подсечно-огневая, лесопольная, залежная, переложная. Они соответствовали низкому уровню развития производительных сил общества: первобытнообщинным, рабовладельческим и феодальным производственным отношениям. Человечество в эти периоды располагало еще большими площадями свободных земель, и по мере утраты плодородия на распаханых участках люди их забрасывали и распахивали новые участки. Вследствие действия природных сил (растительности, микроорганизмов и др.) заброшенные площади в течение нескольких десятилетий восстанавливали плодородие почвы. Кроме собственной мускульной силы, примитивных орудий и тягловых животных, при освоении новых участков земледелец использовал и огонь.

При подсечно-огневой системе в лесных районах сжигание леса обеспечивало

удобрение почвы фосфором, калием, кальцием и другими зольными элементами, уничтожение вредителей и зачатков болезней, ускорение минерализации органического вещества почвы. Выращиваемые человеком на таких полях сельскохозяйственные культуры давали урожай не более 2—5 лет.

В дальнейшем почва утрачивала благоприятные свойства, сильно засорялась и урожаи возделываемых культур резко снижались. Утратившие плодородие поля забрасывали. Естественная растительность в ходе сукцессионных процессов постепенно возрождалась, а плодородие почв восстанавливалось.

Постепенно на смену подсечно-огневой пришла *лесополюсная система земледелия*. Здесь в основу было положено чередование посевов однолетних растений с лесом. Появляется возможность с развитием животноводства продлить время использования отвоеванной у леса пашни благодаря внесению в почву навоза. И все же эпизодическое унавоживание небольшими дозами не могло обеспечить сохранение и особенно повышение плодородия почвы. С потенциально плодородными черноземными почвами в степных районах использовались *залежная и переложная системы земледелия*. Сущность их состояла в воспроизводстве плодородия почвы с помощью многолетней травянистой растительности. Высокое естественное плодородие почв степной зоны и более эффективная роль трав в воспроизводстве плодородия, период их произрастания для улучшения почвы по сравнению с лесной растительностью длился значительно меньше. Сельскохозяйственные культуры возделывались в течение 6—10 лет, а после истощения и засорения почвы поле забрасывали в залеж на 25—30 лет.

Примитивные системы земледелия, как видим, характеризуются низким уровнем использования земли под пашню и ее продуктивностью, крайне медленным и длительным периодом восстановления плодородия почвы за счет использования природных факторов, высокими затратами труда на единицу урожая. При этих системах производство растениеводческой продукции осуществлялось за счет естественного плодородия почвы.

На смену примитивным системам пришла *паровая система земледелия*. Это был шаг вперед. Паровая система земледелия позволила в 3—4 раза расширить площади под посевами зерновых культур, повысить интенсивность использования земли и увеличить производство зерна. Создавались хорошие условия при этой системе для применения навоза, борьбы с сорняками, накопления влаги и питательных веществ в почве, что позволяло более устойчиво вести полеводство, особенно в засушливые годы.

Характерны для этой системы земледелия зернопаровые севообороты с короткой ротацией, где после чистого пара размещали зерновые в течение 1—3 лет.

При положительных сторонах паровой системы земледелия необходимо отметить, что она не создавала условия для развития животноводства, так как кормовые культуры здесь не вводились в севооборот. Из-за распашки природных кормовых угодий скот выпасали на паровых полях, что резко снижало их эффективность. Паровая система земледелия была в России основной вплоть до 20-х гг. XX в. В дальнейшем паровая система развилась в *зернопаровую почвозащитную систему земледелия*, широко применяемую в Поволжье, Зауралье, Сибири и ряде

других регионов страны. Развитием паровой системы в регионах с хорошим увлажнением за счет осадков и развитым животноводством явилась в середине XX в. *многопольно-травяная система земледелия*. Более половины всей площади пахотнопригодной земли при этой системе отводилось под луга и выпасы. Естественные кормовые угодья заменялись улучшенными с посевом многолетних трав. Высокое насыщение севооборотов многолетними травами создает благоприятные условия для повышения плодородия почвы за счет накопления в ней органического вещества, улучшения ее пищевого режима и фитосани-тарного состояния. Следует помнить, что при многопольно-травяной системе земледелия, как и при паровой, плодородие почвы восстанавливается исключительно за счет природных факторов.

Использование удобрений и других средств воздействия промышленного производства на почву здесь крайне ограничено. В регионах и областях с более континентальным климатом многопольно-травяная система не нашла широкого применения.

На основе совершенствования паровой и многопольно-травяной систем земледелия *возникли улучшенные зерновые системы земледелия*. Переход многопольно-травяной системы земледелия в улучшенную зерновую происходил за счет сокращения площади под многолетними травами при увеличении посевов зерновых культур. Севооборота улучшенных зерновых систем земледелия представляют собой зерновое трехполье с полем многолетних трав: 1 — чистый пар, 2 — озимые с подсевом клевера, 3 — клевер, 4 — яровые зерновые; или 1 — чистый пар, 2 — яровая пшеница с подсевом донника или люцерны, 3—4 — донник (люцерна), 5 — яровые зерновые. В дальнейшем при совершенствовании улучшенной зерновой системы чистые пары постепенно начали заменять занятыми, а в севооборота вводить пропашные культуры.

В 80—90-х гг. XX в. в зернопроизводящих районах европейской части России, Сибири широкое применение находит *паро-пропашная система земледелия* с такими севооборотами: 1 — пар чистый, 2 — озимые, 3 — картофель, 4 — яровые зерновые или 1 — пар, 2—3 — яровая пшеница, 4 — кукуруза на силос, 5 — пшеница, 6 — овес или ячмень.

Для различных природно-экономических зон России научными учреждениями в 90-х гг. XX в. предложены следующие системы земледелия: 1. Зернопаровая почвозащитная в районах Зауралья и Западной Сибири. 2. Зернопаропропашная и плодосменная почвозащитная (от водной эрозии) в лесостепных районах Центрально-Черноземной зоны и южной части Нечерноземной зоны. 3. Плодосменная льноводнокормового направления в льносеющих районах Нечерноземной зоны с применением мелиоративных мероприятий по регулированию водно-воздушного режима и окультуриванию почв. 4. Зернокормовая почвозащитная на склоновых землях. 5. Система горного почвозащитного земледелия. 6. Система земледелия для районов Дальнего Востока с муссонным климатом. 7. Система почвозащитного бесплужного земледелия.

Еще раз отметим, что из-за быстрого роста народонаселения и связанного с этим увеличения потребностей в продуктах питания с каждым годом на Земле все

больше проявляются изменения, вызываемые сельскохозяйственной деятельностью человека. В результате естественные ландшафты вытесняются антропо-генно преобразованными ландшафтами, или агроландшафтами (рис. 18.12).

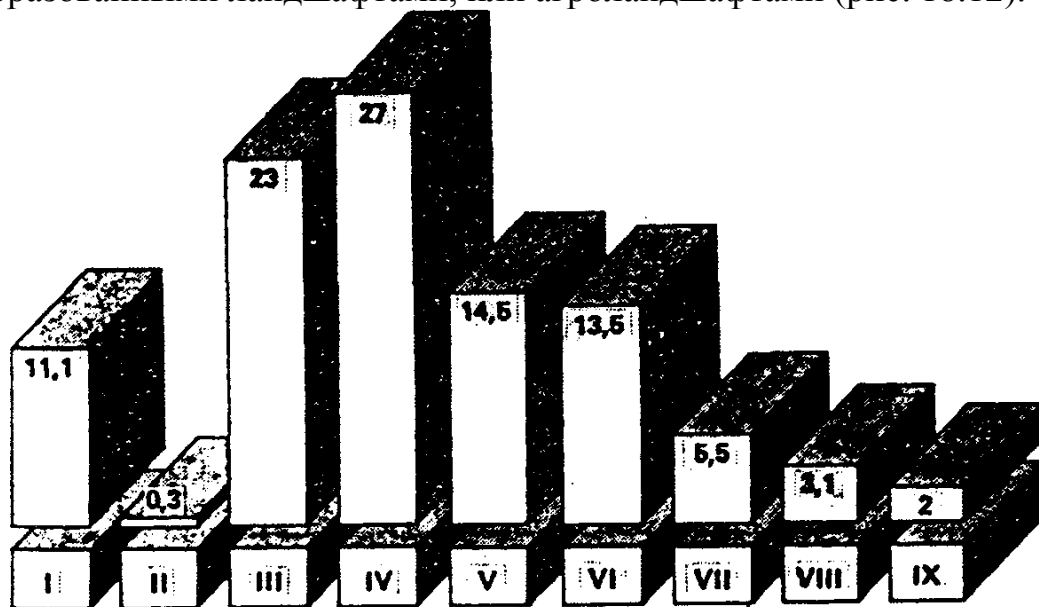


Рис. 18.12. Соотношение естественных и антропогенно преобразованных ландшафтов Земли, в % (по А. А. Иноземцеву, Ю. А. Щербакову, 1988):

I — пашня; II — сады, виноградники, чайные, кофейные, банановые плантации и т. д.; III — луга и пастбища; IV — леса; V — ледники, холодные пустыни; VI — аридные пустыни, скалы, прибрежные пески; VII — внутренние водоемы, болота; VIII — антропогенно засоленные и заболоченные земли, отвалы и карьеры, свалка; IX — города, дороги, аэродромы

В Российской Федерации в 90-х гг. XX в. было занято под сельскохозяйственными угодьями 220,8 млн га, пашней — 131,1 млн га, пастбищами — 63,6 млн га, сенокосами — 21,8 млн га.

В 1993 г. общая посевная площадь равнялась 111,8 млн га, в том числе зерновые культуры возделывались на 60,9 млн га, кормовые — 41 млн га, технические — 5,5 млн га, картофель, овоще-бахчевые — 4,4 млн га.

В Курганской области сельскохозяйственные угодья составляют 443 7,1 тыс. га (62,1 %), пашня — 3017,8 тыс. га (42,2%), пастбища — 933,4 тыс. га (13%), луга — 484 тыс. га (6,8%).

Таким образом, преобразование естественных (природных) ландшафтов в аграрные ландшафты связано с изменением живой и неживой природы, пищевых цепей, геохимических циклов. В результате, как утверждают Н. А. Уразаев, А. А. Бакунин и др. (1996), экосистемы из многокомпонентных, богатых информацией превращаются в малокомпонентные, информативно обедненные или гетерогенные в гомогенные (рис. 18.13).

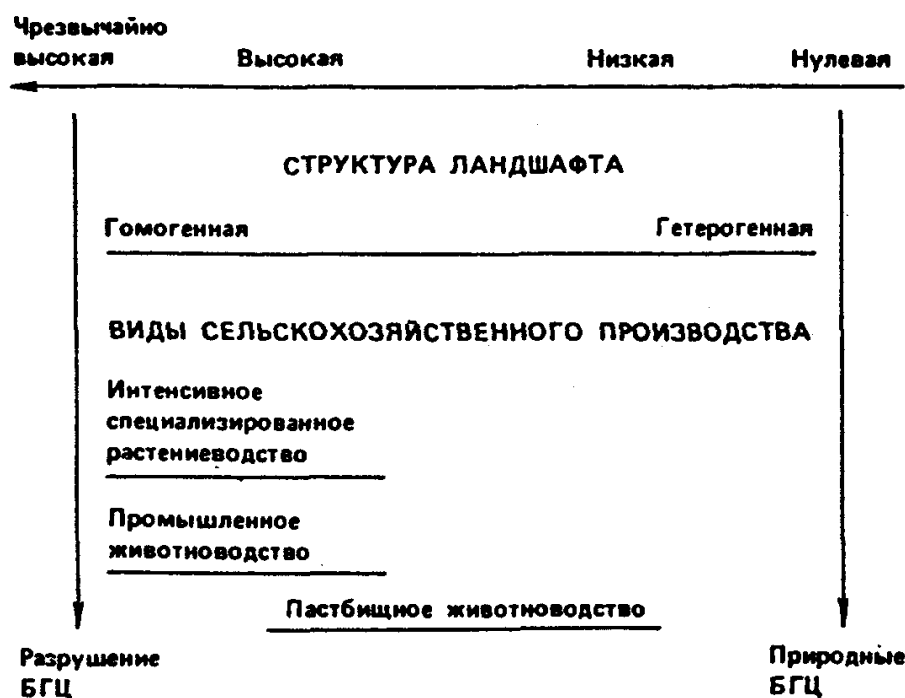


Рис. 18.13. Зависимость между интенсивностью антропогенного фактора и изменением структуры ландшафта (по Н. А. Уразаеву, А. А. Вакулину и др., 1996)

При специализации и интенсификации сельского хозяйства, переводе растениеводства и животноводства на промышленную основу гомогенность аграрного ландшафта возрастает. При чрезвычайном возрастании интенсивности антропогенного фактора механизмы адаптации и самосохранения агроэкосистем могут ослабляться, подавляться и привести к разрушению аграрного ландшафта.

Отсюда, необходимо разработать более совершенные, экологически обоснованные методы управления агроэкосистемами, нужно научиться создавать агроэкосистемы, работающие по принципу естественных (природных) экосистем.

18.6. Роль отдельных компонентов в агроэкосистемах

Известно, что естественные экосистемы проявляют значительное однообразие в общей реакции на случайные природные стрессы (действие низких температур, затопление, пожары, эпифитотии вредителей, болезней и т. д.), сохраняя относительную стабильность. В условиях же длительных интенсивных или хронических стрессов изменения экосистем становятся необратимыми. Отбор человеком из дикой природы полезных для себя растений и животных Ч. Дарвин (1859) назвал *искусственным отбором*. Выступая в роли одомашливателя, организатора и инициатора искусственного отбора и изменяя таким образом дикие виды, человек тоже претерпевает изменения в социальном и экологическом отношениях. Ю. Одум (1975) по этому поводу сделал следующее высказывание, что *человек в той же мере зависит от кукурузы, как кукуруза зависит от человека*. Общество, хозяйство которого построено на возделывании кукурузы, в культурном

отношении развивается совершенно иначе, чем общество, занятое пастбищным скотоводством. Следовательно, одомашнивание животных, создание культурных растений — это особая форма *мутуализма*.

Культивируемое растение является главным компонентом агроэкосистемы. Посевы сельскохозяйственных культур, кормовых и лекарственных трав, обеспечивая потребности людей в продукции растительного происхождения (пища, корма, сырье для промышленности и т. д.), являются не только продуктом природы, но и объектом человеческого труда. Отсюда их рост и развитие определяются антропогенными факторами. Из общего количества видов растений на Земле человек интенсивно использует не многим больше 20, при этом 85% их площади занимают злаковые (рис, пшеница, кукуруза, ячмень, овес, сорго, просо, сахарный тростник, рожь) и бобовые (соя, арахис, кормовые бобы, горох, вика).

Культурные растения, занимая центральное место в агроценозе, оказывают наиболее сильное, зачастую господствующее влияние на агрофитоценоз.

Культурные растения в агроценозе являются *доминантами-эдификаторами*, чаще всего это пшеница, рожь или кукуруза.

Реже встречаются смешанные посевы двух или более видов (кон-доминантов), например вика или горох с овсом, многокомпонентная травяная смесь. Эдификаторные воздействия растений-доминантов, а также кондоминантов разнообразны. Эдифакторы изменяют микроклимат агроэкосистемы, оказывают влияние на физико-химические свойства почвы и почвенной влаги. Выделяя биологически активные вещества, эдификаторы оказывают существенное влияние на флору и фауну агроэкосистемы. Культурные растения воздействуют на среду при помощи выделения метаболитов. Важную эдификаторную роль в фитоценозе среды метаболитов играют *колины* (агенты влияния высших растений на высшие) и *фитонциды* (агенты влияния высших растений на низшие).

В. В. Туганаевым культурные растения по способности влиять на среду подразделены на три группы.

— Первая группа — *сильноэдификаторные* растения. Сюда относятся растения сплошного посева, со 100% покрытием занимаемой площади. В эту группу отнесены высокорослые (до 3 м) и среднерослые растения, быстро развивающиеся с весны, такие, как озимая рожь, рапс, подсолнечник на силос.

— Вторая группа — *среднеэдификаторные* растения. Это растения сплошного и рядкового весеннего посева, сравнительно высокорослые, с 70—80% покрытием занимаемой площади, как правило, быстро развивающиеся после появления всходов (яровые зерновые, включая рис), пропашные (кукуруза, гречиха и др.).

— Третья группа — *слабоэдификаторные* растения. К данной группе относят растения с медленным развитием после появления всходов и покрытием не выше 50% занимаемой площади: овощные, бахчевые культуры, горох и др. Возделываемые культурные растения, выполняя роль доминантов-эдификаторов, определяют структуру и функцию агроэкосистем, их компонентный состав, на вредных и полезных насекомых, возбудителей болезней и сорные растения.

Насекомые. К классу насекомых на нашей планете относится самое большое число форм жизни и самое большое число видов живых организмов (в России и

странах СНГ 80—100 тыс. видов), участвующих в круговороте веществ. Например, в среднем даа каждый гектар естественного биоценоза приходится 500 г птиц, 3—4 кг грызунов, до 15 кг крупных млекопитающих и до 300кг насекомых. В отдельные годы масса некоторых бабочек и их гусениц возрастает до 600 кг на 1 га, а саранчи — до нескольких тонн. Эти фитофаги поглощают огромное количество фитомассы. В переработанном виде они вместе с погибшими насекомыми попадают в почву, превращаясь в плодородный гумус.

Важнейшей функцией многих видов насекомых в биоценозе является опыление цветковых растений. Без насекомых человечество было бы лишено значительной части урожая полей, садов и лесов. *Вредными насекомыми является лишь 1% общей их численности* в агроценозах и сопутствующих им естественных биоценозах. Зачастую насекомые, опыляя растения, ими же и питаются. В естественных условиях насекомые-фитофаги, как правило, не наносят растениям невосполнимый урон, не вызывают их гибель. Например, гусеницы некоторых чешуекрылых, весной объедая листья и хвою лесных деревьев, способствуют более равномерному отложению опада, а поступление испражнений (капролитов) насекомых способствует подкормке растений.

Вместе с тем любое насекомое-фитофаг в агроценозе становится *потенциальным вредителем*. Назовем главнейшие причины.

Первая — это разрушение исторически сложившихся экосистем, свойственных им межвидовых отношений и механизмов регуляции численности живых организмов. Там, где природа еще не тронута человеком, существует уравновешенность взаимоотношений между растениями: питающимися ими животными и хищниками, паразитами этих животных. Выжить способны только те формы, которые не могут полностью истребить свою кормовую базу. Чтобы этого не случилось, выработались сложные механизмы отношений между живыми организмами. Более того, как теперь установлено, животные, питающиеся растениями, даже оказывают содействие процветанию видов животных, являющихся их пищей. В целом же взаимоотношения видов-компонентов гарантирует устойчивое существование этого природного комплекса.

При освоении же территории под земледелие создаются новые условия: меняется кормовая база, возможности существования многих видов. Те из них, которые способны существовать за счет культурных растений, становятся более многочисленными. Из их среды и образуется вредная фауна. Это можно показать сопоставлением состава насекомых, обитающих в ковыльной степи и на расположенном рядом посеве пшеницы. На посевах пшеницы численность хлебной полосатой блохи была в 20,6 раза, серой зерновой совки в 25 раз больше, чем в степи. Так, в условиях степей южного Зауралья, Западной Сибири до 50-х гг. XX в. серая зерновая совка не считалась опасным вредителем, хотя массовые вспышки происходили каждые 11 лет. После освоения целинных и залежных земель в этих регионах в середине 50-х гг. произошло значительное нарастание численности серой зерновой совки, и она стала главным и постоянным вредителем пшеницы.

Вторая причина — генетическая и селекционная работа, проведенная человеком, в значительной степени изменила культурные растения, придав им

новые качества, которых не было у их диких прародителей. Приобретая все более ценные качества для человека, культурные растения в неменьшей степени являются благоприятной кормовой базой и для вредителей. Обеспечение потребностей в пище вредными организмами способствует более быстрому их размножению.

Третья причина — изменение условий для выживания (резервации) и расселение вредных видов, связаны в первую очередь с перестройкой технологии сельскохозяйственного производства.

Четвертая причина — разрушая механизмы, уравнивающие межвидовые отношения в природе, человек тем самым создал условия для более быстрой микроэволюции отдельных видов. Они быстрее приспосабливаются к изменившейся среде, отбор закрепляет эту приспособленность. Установлено, что даже на тех территориях, где влияние человека на природу сказывается косвенным образом, микроэволюция идет ускоренно. У вредных видов этот процесс вызывает расширение зон их обитания, так называемых зон вредности. В 80—90-х гг. XX в. в России появились и широко распространились такие опасные вредители, как колорадский жук, американская белая бабочка и т. д.

Мировое сельское хозяйство в конце XX в. платит насекомым—вредителям сельскохозяйственных культур дань, достигающую 1/5 части выращенного урожая и более (рис. 18.14).

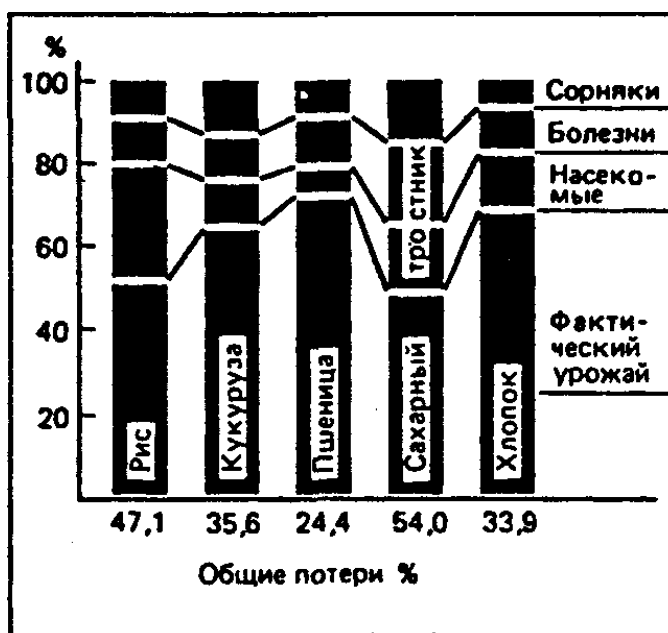


Рис. 18.14. Потери урожая до его сбора для основных культур во всех странах мира, % (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Вредители приобрели свое значение не вследствие того, что ослабло влияние на их численность хищников и паразитов, а в результате исключительной благоприятности для них всего комплекса условий, созданных человеком на полях, и их приспособительной изменчивости к этим условиям.

В снижении потерь урожая от вредителей важная роль должна отводиться полезным насекомым-энтомофагам (рис. 18.15).

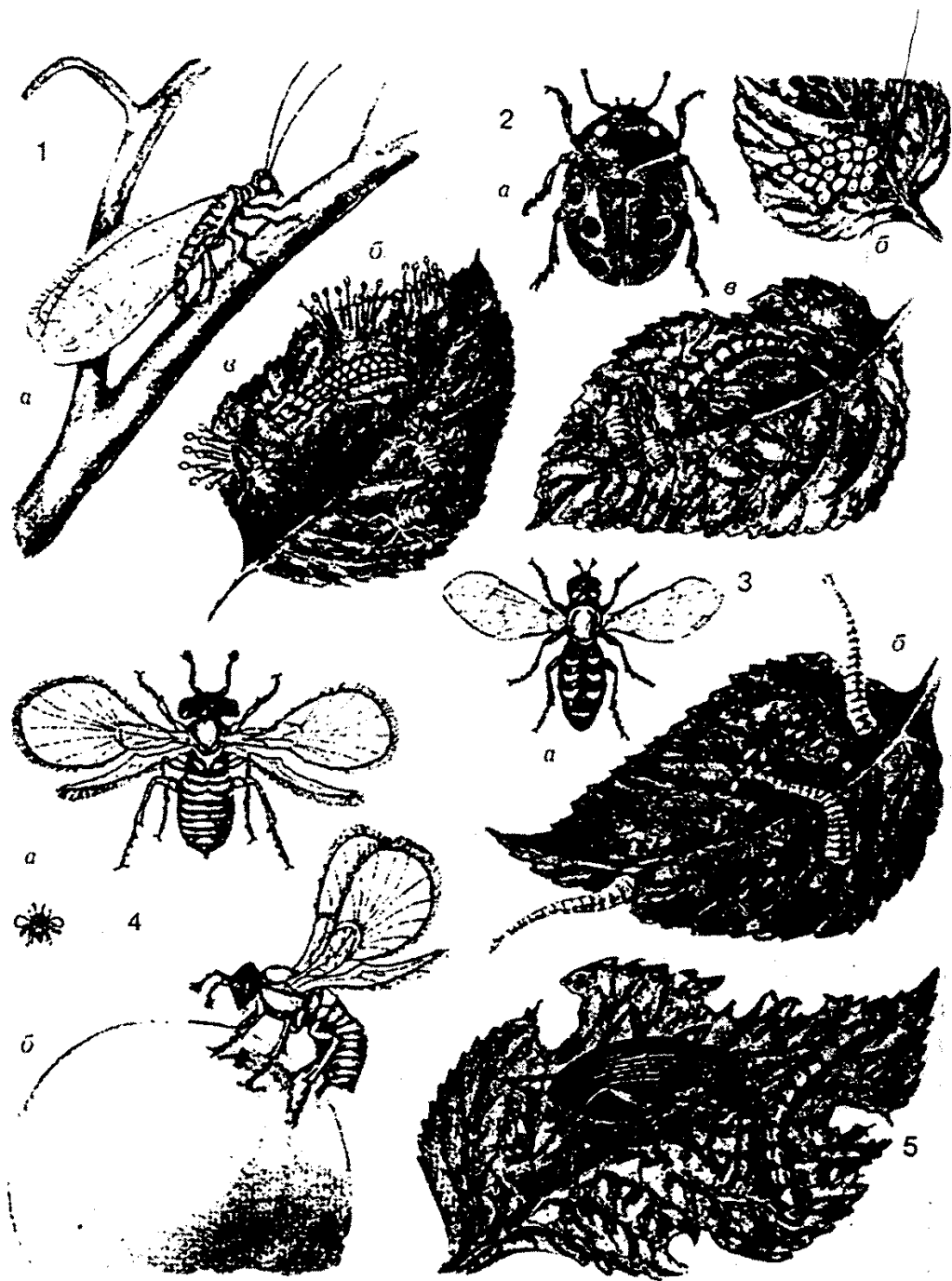


Рис. 18.15. Полезные насекомые-энтомофаги (по В. Н. Корчагину, 1987):

1 — златоглазка: а — взрослое насекомое, б — яйца, в — личинка, уничтожающая тлей. 2 — семиточечная божья коровка: а — взрослое насекомое, б — кладка яиц, в — личинка, уничтожающая тлей. 3 — муха-журчалка: а — взрослое насекомое, б — личинки, уничтожающие тлей. 4 — трихограмма: а — взрослое насекомое, б — самка, откладывающая яйцо в яйцо бабочки. 5 — жужелица, поедающая гусеницу

В агроэкосистемах структура ценозов вредных и полезных членистоногих в значительной мере определяется наличием севоо-боров, лесных полос и в целом методами ведения сельского хозяйства. Должна способствовать сохранению комплекса хищник — жертва.

Фитопатогенные грибы. Паразитирует на культурных растениях не менее 10 тыс. видов грибов. В агроценозах основной вызываемых ими эпифитотий являются

несколько причин, которые обусловлены особенностями размножения, распространения и сохранения этих организмов.

Современное сельское хозяйство связано с возделыванием на больших площадях однородных в генетическом отношении культурных растений-хозяев. Здесь, как правило, доминируют возбудители болезней, которые лучше приспособлены к распространению в пространстве, выживанию во времени. Распространяются грибы — возбудители болезней в пространстве быстрее при воздушно-капельной инфекции, медленнее — при почвенной. Промежуточное положение занимают возбудители семенных и трансмиссионных инфекций. Отсюда огромная опасность, что при расширении площадей под генетически однородными культурами преимущество будут иметь воздушно-капельные инфекции, особенно ржавчинных грибов, с возможностями заражения растений на значительных расстояниях от первичного очага инфекции. При повторном же возделывании культур на огромных площадях, в первую очередь при монокультуре, будет возрастать вредоносность почвенных патогенов, лучше адаптированных для выживания во времени.

При бессменных посевах сельскохозяйственных культур и несоблюдении севооборотов не случайно на первое место по вредоносности во всем мире выходят корневые и прикорневые инфекции.

По В. А. Чулкиной (1991), различают основные (+) и дополнительные [(+)] экологические ниши возбудителей болезней сельскохозяйственных культур (табл. 18.2).

Таблица 18.2

Экологические ниши различных возбудителей эпифитотимических групп инфекций на уровне агроэкосистем (по В. А. Чулкиной, 1991)

Основные (и дополнительные) экологические ниши	Группы и нфекций			
	почвенные	воздушно- капельн ы	семенные	трансмис сионные
Корневая система и другие прикорневые органы	+	~	(+)	
Листья, стебли	(+)	+	~	(+)
Генеративные органы	(+)	(+)	+	(+)
Проводящая система	(+)	(+)	(+)	+

Данные, приведенные в табл. 18.2, согласуются с *законом конкурентного исключения Гаузе*:

— если два вида занимают в фитоценозе одну и ту же экологическую нишу, то один из них должен элиминироваться;

— дифференциация экологических ниш снижает конкуренцию между вредными видами;

— системы отношений в сообществе дифференцированы по нишам популяций разных видов.

В целом средний недобор, например, урожая пшеницы от грибных болезней

составляет при интенсивных технологиях более 20% (рис. 18.16).

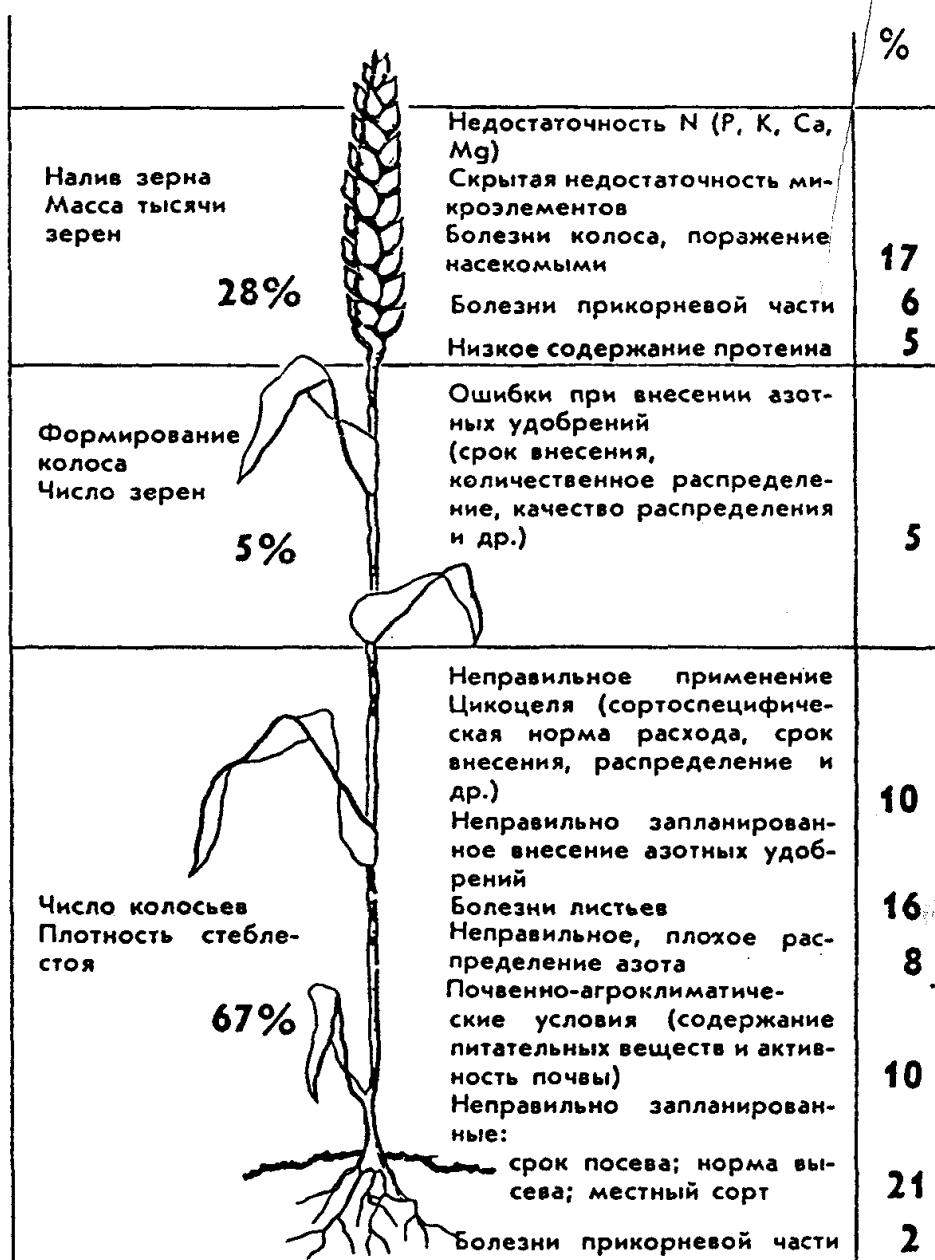


Рис. 18.16. Возможные факторы снижения урожайности яровой пшеницы (по В. П. Никонову и др., 1985)

Сорные растения. Высшие растения, конкурирующие с культурными за пространство, воду и питательные вещества, а нередко и служащие убежищем для вредных насекомых и паразитов, относят к сорнякам. Из тысячи сорных растений в России 100—120 видов особенно вредоносны. «Зеленым пожаром» называют в народе сорняки. Сорняки ведут непрерывную борьбу с культурными растениями за влагу и пищу. На засоренных полях значительная часть удобрений используется сорняками. Например, овсюг извлекает 45% внесенных удобрений, а яровая пшеница — лишь 39%. Осот розовый потребляет из почвы азота в 1,5, а калия в 2 раза больше, чем зерновые культуры. Научными исследованиями доказано, что

сорняки на кукурузных полях содержат азота в 2 раза, фосфора — в 1,6, калия — в 3,5 раза больше, чем кукуруза. Однако основной ущерб от сорняков — снижение урожая и качества продукции сельскохозяйственных культур. Особую проблему представляют интродуцированные сорные растения. Из Америки в Европу завезены дурман, амброзия, ослинник, мелколепестник канадский, горчак розовый, из Европы в Америку — пырей, крапива, бодяк, подорожник. Интродуцированные сорняки, как правило, представляют большую угрозу местным культурным растениям.

Однако сорняки нередко являются резерватами как вредных, так и полезных насекомых. Они служат для полезных насекомых в качестве пищевого субстрата. Зачастую сорняки являются промежуточными хозяевами многих фитопатогенных микроорганизмов, но в то же время — резерватами их антагонистов. Сорняки, рост которых подавляется при обычной обработке почвы, выступают в системах с ее нулевой обработкой как промежуточное хранилище питательных веществ.

Здесь они играют роль полезных продуцентов-перехватчиков подвижных форм азота.

Полное уничтожение сорняков может способствовать переходу обитающих на них второстепенных вредных видов насекомых на возделываемую культуру. В отдельных случаях сорняки выступают как ее партнеры в симбиотической или ассоциативной азото-фиксации.

Важную роль играют сорняки как компоненты агроценоза, ответственные за его сукцессию, при резкой смене системы землепользования. При проведении продукционно-биологических исследований на залежных землях поселяются однолетние сорняки. В дальнейшем они сменяются многолетними сорными растениями. Хотя видовой состав растений меняется из года в год, но уже со второго года, когда прекращается влияние прежнего землепользования, он стабилизируется.

Сорняки, наконец, служат источниками генетической информации, резервным растительным ресурсом для селекционеров. Есть мнение, что многие культуры, такие, как рожь, овес и др., — это бывшие сорняки пшеницы. Отсюда не прекращаются попытки использования генетической зародышевой плазмы различных диких растений для придания новым сортам культурных растений важных характеристик, которые имеются у диких растений.

В целом сложные взаимодействия между культурными растениями, их вредителями (насекомые, грибы, сорняки и др.) и окружающей их средой можно представить в общем и весьма упрощенном виде как группу перекрывающихся кругов (рис. 18.17).

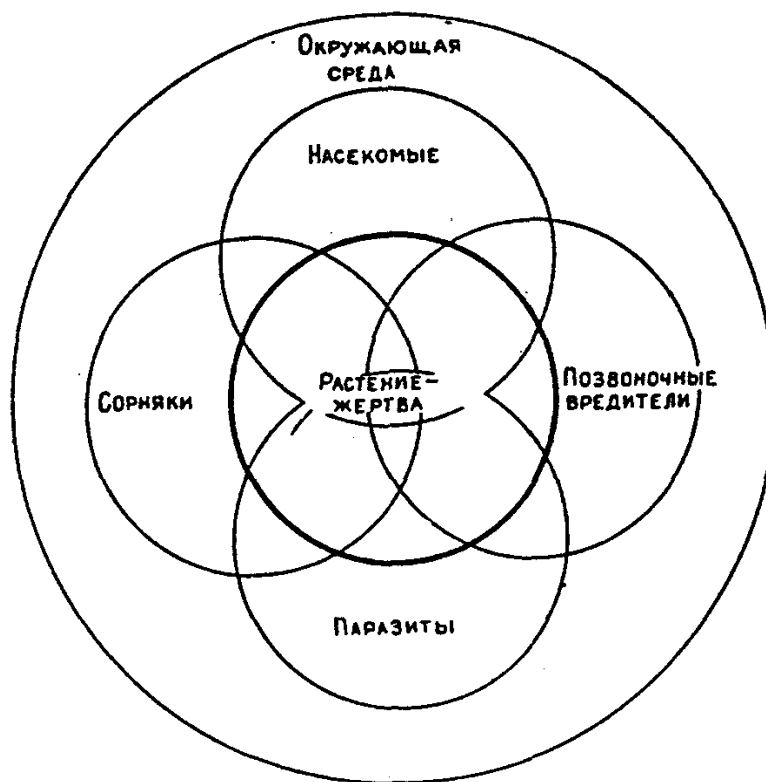


Рис. 18.17. Взаимозависимость между растениями-жертвами, их вредителями (насекомыми, сорняками, млекопитающими и паразитами) и средой (по Д. А. Робертсу, 1981)

В зависимости от обстоятельств, данный вредитель может реагировать только с окружающей средой или же, достигнув своей жертвы, он может реагировать со своей жертвой и ее окружением, которое воздействует не только на вредителя и на жертву, но также и на взаимодействия между ними. Эти сложные взаимодействия могут быть еще далее усложнены взаимодействием всех исходных компонентов с одним, двумя или тремя дополнительными типами вредителей. Поэтому при выполнении мероприятий по снижению потерь урожая сельскохозяйственных культур от вредных организмов необходимо осуществлять системный подход, проведение интегрированной защиты растений. Борьба с вредителями культурных растений должна опираться, по меньшей мере, на семь принципов и мероприятия должны применяться для защиты семи жизненных функций растений, нарушаемых вредителями (рис. 18.18).

Каждая программа, разработанная для борьбы с тем или иным вредителем, должна учитывать меры, применяемые до, после и на протяжении всего цикла развития культурного растения.

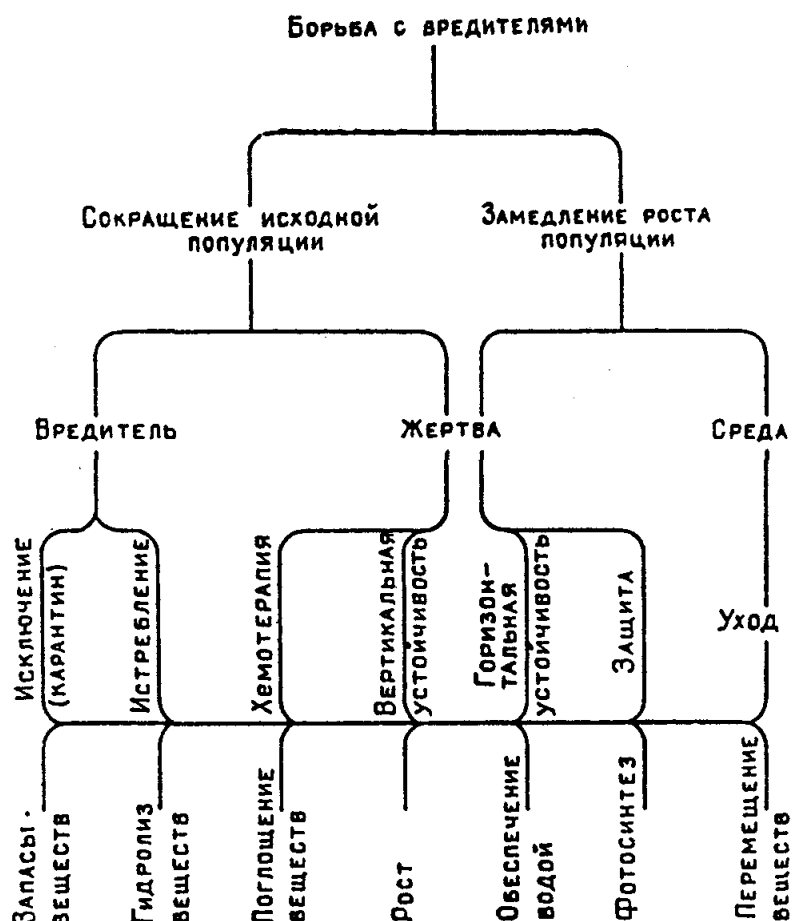


Рис. 18.18. Взаимозависимость между семью принципами борьбы с вредителями культурных растений (по Д. А. Робертсу, 1981)

18.7. Экологические аспекты интенсификации земледелия

Продуктивность сельскохозяйственных культур зависит от многих факторов. Часть из них, таких, как температурный режим, солнечная радиация, не регулируются человеком в открытом поле, но учитываются в практике путем выбора сроков сева, густоты стояния растений, направления рядков и т. д.

Другие факторы обеспечиваются производственной деятельностью человека. К важнейшим из них относятся: наличие влаги в почве; обеспеченность растений элементами питания; сорт; качество семян; защита посевов от вредителей, болезней и сорняков; регулирование роста; уборка урожая.

Наивысшая продуктивность достигается при совокупности оптимальных условий роста и развития растений. Выпадение, даже частичное, только одного из этих факторов приводит к значительному недобру продукции. Сущность интенсификации земледелия, интенсивных технологий состоит в следующем: размещении посевов по лучшим предшественникам в системе севооборотов; возделывании высокоурожайных сортов интенсивного типа с хорошим качеством

зерна; высоком обеспечении растений элементами минерального питания с учетом их содержания в почве; детальном применении азотных удобрений в период вегетации по данным почвенной и растительной диагностики; интегрированной системе защиты растений от вредителей, болезней и сорняков; регулировании роста ретардантами; своевременном и качественном выполнении всех технологических приемов, направленных на защиту почв от эрозии, накопление влаги, создание благоприятных физических условий развития сельскохозяйственных культур. Это достигается применением технологической колесницы, более совершенных машин и приспособлений, их тщательной регулировкой.

Система севооборотов. Соблюдение *севооборотов* — чередования культур в пространстве и времени в конкретных условиях того или иного хозяйства — обеспечивает получение наиболее высокой продуктивности возделываемых культур, повышение плодородия почвы и фитосанитарное состояние полей, снижение численности вредителей, болезней и засоренности посевов. Далее перечисляются основные направления совершенствования систем севооборотов в земледелии.

1. Улучшение состава предшественников ведущих культур путем корректировки структуры использования пашни с целью повышения и стабилизации производства зерна, кормов и технических культур. Так, яровую пшеницу лучше размещать по парам, многолетним травам, пропашным культурам, ячмень — после кукурузы, пшеницы и зернобобовых культур. Не допускать соседства яровых и озимых культур, так как в противном случае будут создаваться условия для быстрого распространения инфекции многих болезней (ржавчина, мучнистая роса и др.) и вредителей (шведская муха, зеленоглазка и т. д.).

2. Специализация севооборотов, насыщение их до оптимальных размеров отдельными культурами (группами культур) с учетом особенностей почвенно-климатических зон, межхозяйственной и внутрихозяйственной специализации, разнокачественности почв по уровню плодородия и подверженности эрозии.

3. Уплотнение севооборотов промежуточными культурами в целях повышения их общей продуктивности и почвозащитной эффективности, усиления положительного влияния на фитосанитарное состояние и плодородие почв.

4. Создание в севооборотах преимущественных условий для ведущих культур при возделывании их по интенсивным технологиям.

5. Укрупнение полей и севооборотных массивов в рамках строгого соблюдения принципа дифференцированного использования пашни.

Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур. Во многих странах мира, как показывает опыт, при интенсификации земледелия прирост урожайности зерновых культур на 70% обеспечен повышением общей культуры земледелия и на 30% — внедрением новых сортов с высоким продуктивным потенциалом. Например, повышение содержания белка в пшенице на 1% равносильно получению 600 тыс. т растительного белка, сахаристости свеклы на 1% — 700 тыс. т сахара, крахмала в картофеле на 1% — 820 тыс. т дополнительного урожая.

В России значительный прирост урожайности зерновых культур произошел после внедрения в производство сорта пшеницы Безостая 1, а затем сортов,

созданных на ее основе: Одесская 51, Эритроспермум 127, Прибой.

Выведены новые сорта и особо ценной пшеницы — твердой, отличающейся высокими хлебопекарными свойствами. Так, потенциальная продуктивность сортов озимой пшеницы Парус и Коралл достигает 90 ц с гектара. Среди сортов яровой пшеницы имеются такие, потенциальная продуктивность которых превышает 50—60 ц с 1 га. Среди них Саратовская 46, Жигулевская, Омская 18, Омская 20, Терция, Тюменская 80 и др.

Для условий интенсивного земледелия созданы гибриды кукурузы — Код 215, Коллективный 100 ТВ, Коллективный 111 ТВ и другие. Данные сорта кукурузы устойчивы к полеганию, засухе и отличаются большей семенной продуктивностью, чем их родительские формы. Позволяют возделывать по зерновой технологии в более северных районах страны.

Использование для посева сортов, устойчивых к вредителям и болезням (важная задача, стоящая перед селекционерами при выведении новых сортов сельскохозяйственных культур), способствуют снижению потерь урожая без дополнительного применения химического метода. В связи с потерей сортовых качеств, устойчивости к вредным организмам из-за появления, например, новых рас возбудителей болезней, необходима периодическая сортосмена, а также возделывание двух-трех сортов с различными свойствами, что особенно важно в борьбе с головневыми и ржавчинными заболеваниями зерновых культур.

Высококачественные семена — важный резерв снижения потерь от вредных организмов, повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Селекция и семеноводство взаимосвязаны между собой. Применение приемов семеноводства, направленных на поддержание устойчивости, значительно продлевает жизнь нового сорта. Несоблюдение же приемов семеноводства может за несколько лет свести работу селекционера на нет. С этой точки зрения заслуживает внимания работа СибНИИСХоза (г. Омск). Здесь разработана и предложена система семеноводства новых перспективных сортов зерновых культур. На основе предварительного сортоиспытания и широкой проверки в производственных условиях начинается в институте размножение семян лучших сортов зерновых культур еще до их официального районирования или за пять-шесть лет, а к моменту районирования хозяйства области (региона) имеют возможность получить значительное количество семян для производственных посевов и организации семеноводства.

Система обработки почвы. Включает состав, последовательность и сроки проведения конкретных приемов рыхления или уплотнения почвы, технологию их выполнения, которые определяют в большей мере физико-химические свойства почвы, ее микробиологическую активность.

В 80—90-х гг. XX в. в России на обработку почвы приходилось 40% энергетических и 25% трудовых затрат от всего объема полевых работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур. Если все виды обработок при выращивании культур пересчитать на вспашку, то на 1 га пашни ежегодно перемещается 6000 т почвы, что далеко не всегда оправдано.

Обработка почвы должна быть подчинена решению *главной задачи* — обеспечению культурных растений водой, воздухом, элементами пищи,

рациональному использованию потенциального плодородия почвы. С помощью различных приемов обработки почвы вносятся удобрения, создаются условия для нормального прорастания семян, ведется уход за посевами в период вегетации возделываемых культур, борьба с вредителями, болезнями и сорняками. Любой конкретный прием обработки почвы должен быть строго целенаправлен, а их комплекс и технология выполнения в данных конкретных условиях должны обеспечивать нужное изменение определенных качественных параметров почвы, на которых он применяется.

При выборе приемов обработки почвы и технологии их выполнения обязательно учитываются физико-механические свойства конкретных типов почв: их механический состав, удельное сопротивление при вспашке и рыхлении, физическая спелость, а также глубина пахотного горизонта. Сочетание приемов и видов обработки почвы должно быть тесно увязано с конкретными местными природными и почвенными условиями, биологическими особенностями выращиваемых культур. Например, в условиях Зауралья в августе-сентябре проводится основная обработка почвы. При проведении основной обработки почвы уничтожаются гусеницы зерновой совки, личинки трипса, возбудители обыкновенной гнили яровой пшеницы и ячменя, мучнистой росы, септориоза, пятнистостей листьев яровых зерновых культур, многолетние корнеотпрысковые сорняки (осот розовый и желтый, вьюнок полевой и др.), озимые, зимующие и яровые сорняки (овсюг, щетинники, гречиха вьюнковая, сурепка полевая, конопля и т. д.).

На полях, засоренных осотом розовым, и на солонцах обработка почвы на глубину 25—27 см проводится ПН-8-35Б или КПГ-2-150. На остальных полях и при засорении осотом желтым вспашка на 25 см ПН-8-35. Выравнивают отвальную зябь дисково-ванием и боронованием ЛДГ-10, БЗСС-1,0.

При предпосевной обработке почвы уничтожают всходы малолетних сорняков боронованием БЗСС-1,0 на 4—6 см. Перед посевом культивацией КПС-4, КПП-4 на глубину 5—8 см уничтожают однодольные и двудольные сорняки, снижают вредоносность хлебной полосатой и стеблевой блох, шведской мухи, пшеничного трипса, зерновой совки и других вредителей.

Обработка почвы должна во всех зонах быть почвозащитной, обеспечивать расширенное воспроизводство ее плодородия. В связи с этим одно из направлений совершенствования обработки — ее минимализация в целях снижения деформации пахотного и подпахотного слоев почвы под воздействием тракторов и сельскохозяйственных машин при производстве сельскохозяйственной продукции.

Применение удобрений. Между продуктивностью земледелия и плодородием почвы объективно существует противоречие: чем больше мы берем с гектара продукции, тем выше вынос питательных веществ. Например, урожай 1 т зерновых в среднем выносит 65 кг основных действующих веществ (25 кгМ, 10 кгР²О⁵ и 30 кг К²О). Это противоречие можно преодолеть только восполнением и наращиванием энергетического потенциала почв, внесением органических, минеральных веществ, микроэлементов.

Значение химизации сельского хозяйства в связи с этим трудно переоценить:

оно позволяет повышать плодородие почв, улучшать кислые и засоленные земли, лучше сохранять и повышать питательную ценность кормов и т. д.

Азот оказывает влияние на фотосинтез растений, которое состоит в его использовании на синтез аминокислот. Азот также необходим для образования зеленых пигментов в растении (хлорофилла) и для синтеза белков — элементов структуры хлороп-ластов, ферментов, ответственных за различные реакции фотосинтеза. Стимулирует рост вегетативной массы растений, определяет уровень урожайности и качества продукции.

Действие *фосфора* (фосфорные удобрения) на фотосинтез растений заключается в том, что остатки фосфорной кислоты входят в состав акцептора-соединения, связывающего CO_2 и промежуточных продуктов фотосинтеза. С помощью световой энергии из неорганического фосфата и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) синтезируется аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), участвующая в реакциях восстановления CO_2 . Фосфаты также входят в состав фосфатидов и фосфопротеидов, нуклеиновых кислот.

Фосфор оказывает стимулирующее влияние на развитие корневой системы, формирование репродуктивных органов, ускоряет созревание. У озимых культур фосфорные удобрения повышают зимостойкость, на 15—20% снижают расход воды на единицу урожая.

Калий способствует накоплению растениями Сахаров, что предохраняет озимые культуры от вымерзания, повышает прочность соломины и устойчивость к поражению корневыми гнилями и ржавчиной, ускоряет передвижение углеводов из стеблей и листьев в колос, увеличивая натуральную массу зерна.

Азотные минеральные удобрения выпускаются и применяются в твердом и жидком видах. По форме азота твердые азотные удобрения подразделяются следующим образом.

1. Аммонийные (NH_4): сульфат аммония, хлорид аммония.
2. Аммонийно-нитратные (NH_4NO_3): аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония.
3. Нитратные (NO_3): нитрат натрия (натриевая селитра), нитрат кальция (кальциевая селитра).
4. Амидные (NH_2): карбамид (мочевина), цианамид кальция.

Из жидких азотных удобрений более широкое применение находят аммиачные (NH_3). Весь азот содержится в виде аммиака: водного или безводного.

Из фосфорных удобрений главным образом применяются водорастворимые удобрения, которые наиболее легко усваиваются растениями: суперфосфат, двойной суперфосфат, а также сложные удобрения — аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, карбоаммофоска.

Наиболее распространенными калийными удобрениями являются хлорид калия, сульфат калия, калийная соль и др.

В целом сельскому хозяйству России поставка минеральных удобрений в пересчете на 100% питательных веществ составила: в 1985 г. — 12674 тыс. т, 1990 г. — 11051 тыс. т и в 1993 г. — 3721 тыс. т.

Растениям для роста и развития, наряду с азотом, фосфором и калием,

требуются в очень малых количествах другие питательные вещества — микроэлементы. К ним относятся бор, молибден, медь, марганец, цинк, железо, кобальт, никель и другие. Главное действие микроэлементов в жизнедеятельности растений состоит в том, что они либо входят в состав биологических катализаторов-ферментов, либо являются активаторами их работы.

По данным агрохимического обследования почв, содержание подвижных форм микроэлементов в пахотных землях России невелико. Около 80% площади пашни характеризуется низ-кой и средней обеспеченностью подвижным молибденом, почти 97% — цинком, 92% — кобальтом, 50% — бором, 34% — марганцем.

Микроэлементы применяют непосредственно, путем внесения в почву и опрыскиванием растений в виде растворов борной кислоты, молибдата аммония, молибдата натрия, сульфата меди, сульфата цинка, железа и т. д.

В 90-х гг. XX в. все более распространяется промышленное производство простых удобрений с микроэлементами: простой и двойной суперфосфат с бором, марганцем или молибденом, карбамид с медью, сложные удобрения (фосфаты аммония, нитрофосфаты) и другие.

Большое внимание должно уделяться мероприятиям по сохранению и увеличению содержания в почве гумуса. Так, по данным И. В. Кузнецовой (1979), увеличение содержания гумуса в дерново-подзолистой почве с 2,4—2,9% до 5—6% приводило к повышению содержания водопрочных агрегатов ($>0,25$ мм) в пахотном слое до 50%, влагоемкость увеличивалась до 43—44%, а диапазон активной влаги достигал в среднем 19—25%. Внесению органических удобрений, особенно на малогумусных почвах, должно уделяться особое внимание.

Отсутствие или недостаточное применение органических удобрений, приводит к уменьшению запасов почвенного азота и как следствие, к снижению гумусированности почв. Применение минеральных удобрений может лишь снизить темпы этого процесса, но не исключить его полностью. Результатом является выпаханность почв, истощение их гумусового фонда и снижение эффективного и потенциального плодородия. Это не только ухудшает режим почвенного питания, но и отрицательно влияет на физико-химические свойства, водно-воздушный и тепловой режимы, почвенно-поглощающий комплекс и биологическую активность минеральных удобрений и приводит к значительному недобору урожая сельскохозяйственных культур.

В Курганской области основным органическим удобрением являются навоз и солома. В среднем на 1 га пашни ежегодно вносится 2,2—2,5 т навоза в пересчете на полуперепревший навоз.

Побочное действие минеральных удобрений. Химизация сельского хозяйства, проводящаяся нарастающими темпами, занимает далеко не последнее место в ряду антропогенных факторов, воздействующих на почвы и на природу в целом (рис. 18.19).

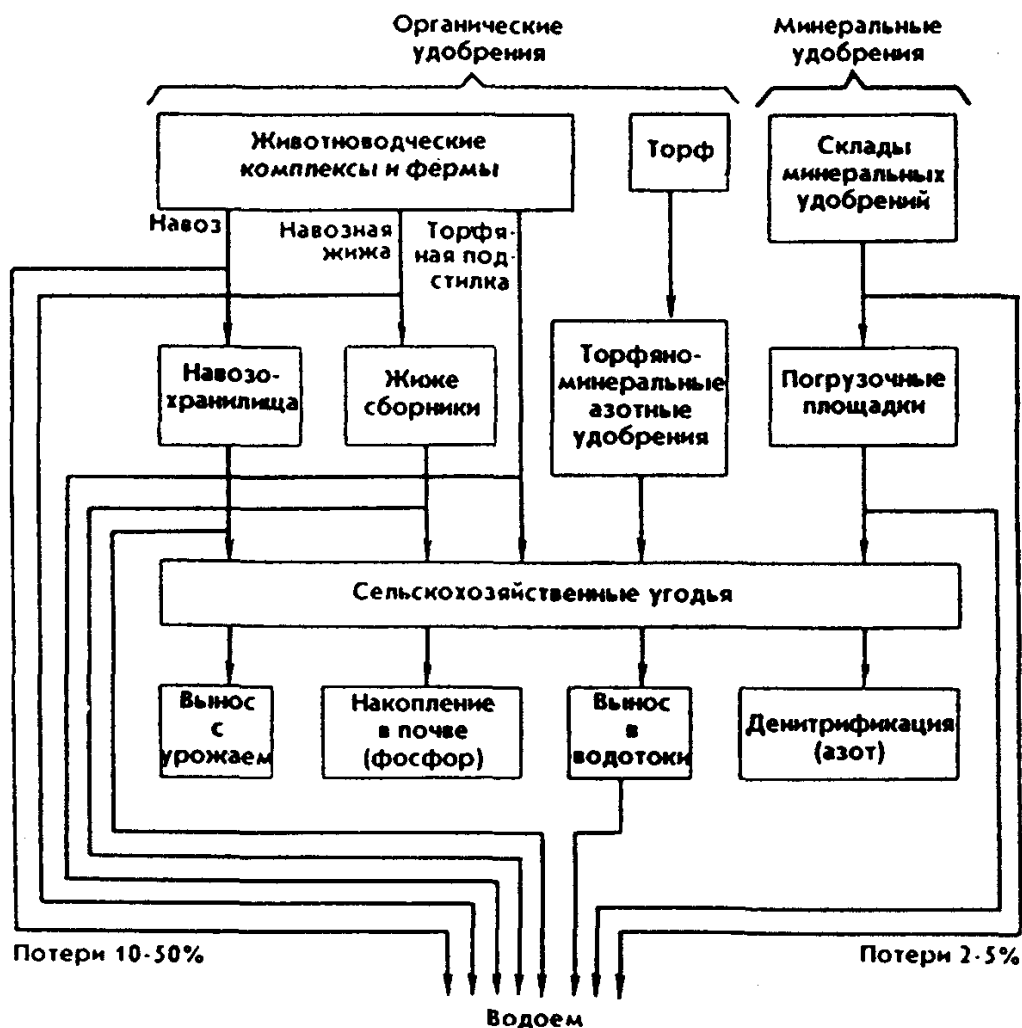


Рис. 18.19. Миграция биогенных веществ при сельскохозяйственном производстве (по Н. Ф. Винокуровой и др., 1994)

В результате интенсивного использования удобрений в природной среде рассеивается ряд химических элементов, что приводит к нарушению круговорота веществ.

Промышленный синтез азотных удобрений и их рассеивание по поверхности земли вносит серьезные изменения в его биогеохимический круговорот. Увеличение количества азота в природных средах за счет деятельности человека — опасное явление, так как вводимые в избытке нитраты не полностью денитрифицируются, а отсюда равновесие между процессами нитрификации и денитрификации нарушается. Ежегодно избыток нитратов достигает более 9 млн т. Они аккумулируются в гидросфере, растениях, а в дальнейшем в пищевых продуктах, вызывают тяжелое отравление (рис. 18.20).

фосфорных удобрений, в состав которых входят данные элементы.

Дополнительное внесение минеральных удобрений нередко способствует загрязнению почв тяжелыми и токсическими металлами, которые через корм животных попадают в пищу человека. Таким образом, загрязняющие вещества оказывают и прямое влияние (разрушение и уменьшение урожая), и косвенное (аккумуляция этих веществ в почве, организмах животных и пищевых продуктах).

Отсюда есть необходимость сбалансированного (по всем необходимым макро- и микроэлементам), умеренного применения удобрений, проведения учета накопления и определения потенциальной опасности для населения и животных нитратов, нитритов и N-нитрозосоединений, содержащихся в водах, осадках, почве и растениях. Важен также расчет максимально возможных уровней загрязнения азотными соединениями при орошении. Данные о балансе и равновесии соединений азота с взаимодействующими веществами вод и почв должны служить основой рекомендаций о нормах, дозах и способах применения минеральных и органических удобрений, а также об использовании биологического азота для каждой сельскохозяйственной культуры севооборота.

Известкование и внесение в дерново-подзолистые почвы органических удобрений — важное условие уменьшения вредных для окружающей среды потерь питательных веществ. Снижение почвенной кислотности повышает эффективность удобрений в целом, а органические удобрения при этом существенно увеличивают водоудерживающую способность почвы и сорбционные свойства, что повышает ее плодородие, улучшает физико-химические свойства и обеспечивает более полное использование растениями питательных веществ, содержащихся в почве.

Мелиорация земель. Это система технических, агрономических и организационных мероприятий, направленных на преобразование неблагоприятных для сельскохозяйственного производства условий.

Нестабильность урожаев часто вызывается неустойчивым водообеспечением посевов в период вегетации. Практически ежегодно на территории страны в одних районах сельскохозяйственные культуры подвергаются губительному воздействию засухи, а в других страдают от избытка увлажнения. Примерно 40% пашни находится в зонах, где количество осадков не превышает 400 мм и растения хронически испытывают недостаток влаги, 9% — в зонах избыточного увлажнения. Остальные площади также страдают от недостаточного и неустойчивого увлажнения в течение вегетационного периода или в отдельные ответственные фазы развития растений. Мелиорация в наших условиях — неотъемлемое и мощное средство повышения устойчивости и продуктивности земледелия. Мелиорация:

- повышает устойчивость сельскохозяйственного производства, обеспечивая выравнивание урожаев, получаемых как в засушливые, так и дождливые годы;

- позволяет существенно повысить производительность труда и интенсифицировать сельскохозяйственное производство за счет рационального использования мощной сельскохозяйственной техники и удобрений на мелиоративных землях и выполнения всех агротехнических мероприятий в наиболее благоприятные сроки;

- создает возможность удовлетворить потребность народного хозяйства в

такой ценной культуре, как рис, выращивать который в климатических условиях России можно главным образом на орошаемых землях.

Площадь орошаемых земель в бывшем СССР в 90-х гг. XX в. составляла 21—25 млн га и осушенных земель — 18—19 млн га. На орошаемых землях выращивали 3—3,5 т риса, производство кормов достигало 80—82 млн т кормовых единиц.

В России в 1993 году орошаемые земли занимали 5,3 млн га, из них пашня — 4,8 млн га. Посевная площадь сельскохозяйственных культур составляла 4,5 млн га, в том числе зерновых культур — 1,3 млн га, кормовых культур — 2,8 млн га.

Площадь осушенных земель равнялась 5,1 млн га, из них пашня — 2,7 млн га, посевная площадь сельскохозяйственных культур составляла 2,6 млн га, в том числе зерновых культур — 0,96 млн га, кормовых культур — 1,5 млн га. На орошаемых землях получен валовый сбор зерна 3276 тыс. т, сахарной свеклы (фабричной) — 954 тыс. т, семян подсолнечника — 55 тыс. т, овощей — 1996 тыс. т. На осушенных землях валовый сбор зерна составил 1395 тыс. т, картофеля — 443 тыс. т, сои — 53 тыс. т, льна-долгунца (волокно) — 9,5 тыс. т.

Применение средств защиты растений. Мировые потери урожая сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков, по подсчетам ученых, в 90-х гг. XX в. составляют от 25 до 48%. В США, например, они достигают 33% (13% продукции теряется от вредителей, 12% — от болезней и 8% от — сорняков).

Более столетия химические средства защиты растений (пестициды) играют важную роль в борьбе с вредителями, болезнями и сорняками сельскохозяйственных культур.

Мировое производство пестицидов в 1975 г. оценивалось в 1,6 млн т действующего вещества. В дальнейшем ежегодный прирост производства пестицидов составлял 10—15%. При таких темпах мировое производство пестицидов к 2000 г. должно достигнуть 2,5—2,7 млн т действующего вещества.

В ассортименте химических средств защиты растений средства борьбы с сорняками (гербициды) занимают 40%, средства борьбы с вредителями (инсектициды) — 35%, средства борьбы с болезнями (фунгициды) — 15%, прочие — 10% (рис. 18.21).

Из общего мирового производства пестицидов США и Канада используют 33%, Западная Европа — 25%, Юго-Восточная Азия — 22%, Восточная Европа (включая Россию)

— 10%, Латинская Америка — 9%, Австралия и Новая Зеландия — 1%. В 80—90-х гг. XX в. в бывшем СССР площади, обрабатываемые пестицидами и дефолиантами (в расчете на однократное применение), составляли около 140 млн га, в том числе гербицидами — около 70 млн га. В этот период для нужд сельского хозяйства поставлялось около 500 тыс. т д. в. пестицидов. Использование пестицидов в сельском хозяйстве стало соизмеримым с масштабами применения минеральных удобрений.

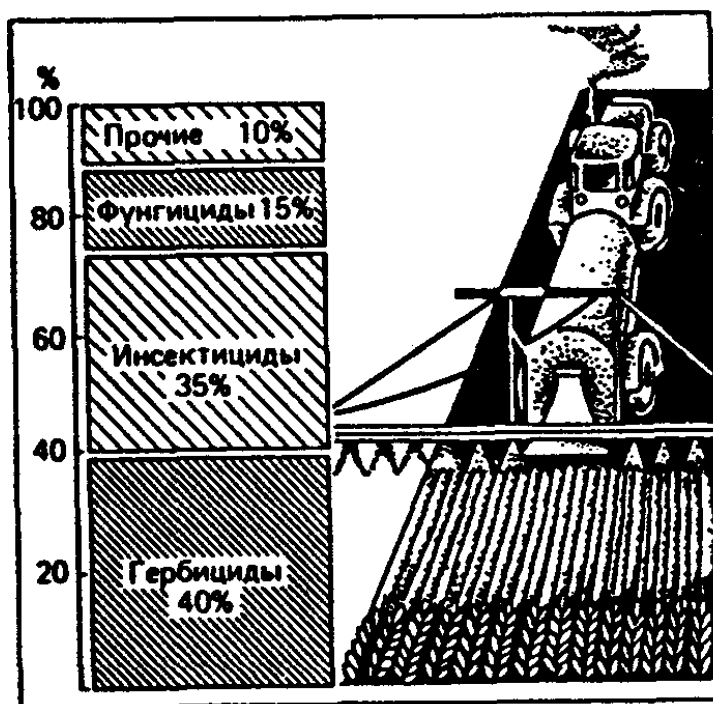


Рис. 18.21. Мировое производство средств защиты растений-пестицидов в 80-х гг. XX в. (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Об эффективности применения пестицидов свидетельствует такой пример: для получения урожайности пшеницы 50 ц/га затраты на пестициды составляют 30—35% общих. Использование пестицидов в Московской области обуславливает прибавку урожая пшеницы 6 ц/га.

При подавлении вредных организмов до экономического порога вредоносности применением пестицидов, по мнению В. А. Захаренко (1990), ежегодное производство продукции растениеводства в бывшем СССР могло бы возрасти на 25,7%. Другой пример. Если в США прекратить применение пестицидов, то для сохранения урожая на современном уровне потребуется дополнительно распахать 52 млн га и стоимость продукции растениеводства возрастет (за счет снижения производительности труда) на 50—70%.

Воздействие пестицидов на агроэкосистемы. Пестициды, применяемые в сельском хозяйстве, относятся к различным классам главным образом органических соединений (хлорорганические, фосфорорганические, симметричные триазины, гетероциклические соединения и др.), обладают токсичностью не только для вредных организмов, но и человека, животных, несут опасность для окружающей среды. Пестицид, каким бы он ни был, неизбежно вызывает глубокие изменения всей экосистемы, в которую его внедрили. Из совокупности экологических свойств, присущих всем пестицидам, действия их никогда не бывают однозначными.

1. Пестициды, как правило, имеют широкий спектр токсического действия как на виды растений, так и на виды животных. Отсюда названия инсектициды, фунгициды, гербициды и т. д. вводят в заблуждение, так как не дают представления о реальном диапазоне воздействия этих веществ.

2. Пестициды очень токсичны для животных и человека.

3. Человек использует пестициды для уничтожения ограниченного числа организмов, составляющих не более 0,5% общего числа видов, населяющих биосферу, в то время как пестициды при применении воздействуют на все живые организмы.

4. Пестициды всегда при проведении защитных мероприятий направлены против популяций.

5. Действие пестицидов не зависит от плотности популяции, но их используют только в том случае, когда численность популяции вредителя достигает большого значения.

6. Нередко применяют значительно больше пестицидов, чем необходимо для уничтожения вредителя: преднамеренные излишки обработки полей объясняют «надежностью» и т. д.

7. Площади, на которых используются пестициды, значительны, составляют сотни миллионов гектаров.

8. Многие пестициды обладают длительным сохранением в почве — от нескольких месяцев до 2—3 лет, а иногда и более.

Стабильность пестицидов опасна различными последствиями, которые еще более усугубляют проблемы, связанные с этим видом загрязнения.

Пестициды распространяются далеко за пределами тех агроэкосистем, где они применяются. Даже в случае использования наименее летучих компонентов более 50% активных веществ в момент воздействия переходит прямо в атмосферу.

Большую опасность как источник загрязнения продуктов питания пестицидами представляет почва. В почву пестициды поступают различными путями: при непосредственном внесении их в почву для уничтожения почвообитающих вредителей, сорняков, с протравленными семенами, сносе препаратов при обработке посевов во время вегетации полевых культур (рис. 18.22), неосторожном выполнении различных операций с химическими препаратами (расфасовке, приготовлении рабочих растворов, транспортировке и т. д.), при поверхностном стоке с вышерасположенных участков, с осадками, оросительными, коллекторно-дренажными и сточными водами, с частицами почвы при ветровой эрозии.

Пестициды после целенаправленного внесения или случайного попадания в почву могут вызывать в окружающей среде следующие изменения:

— уничтожить вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур, сорные растения или изменить процессы роста и развития растений в желательном для человека направлении, а затем минерализоваться в течение разного периода времени;

— вызвать нежелательные эффекты (фитотоксическое действие персистентных, например гербицидов, на последующие культуры, изменение химического состава культурных растений в отрицательную сторону и т. п.).

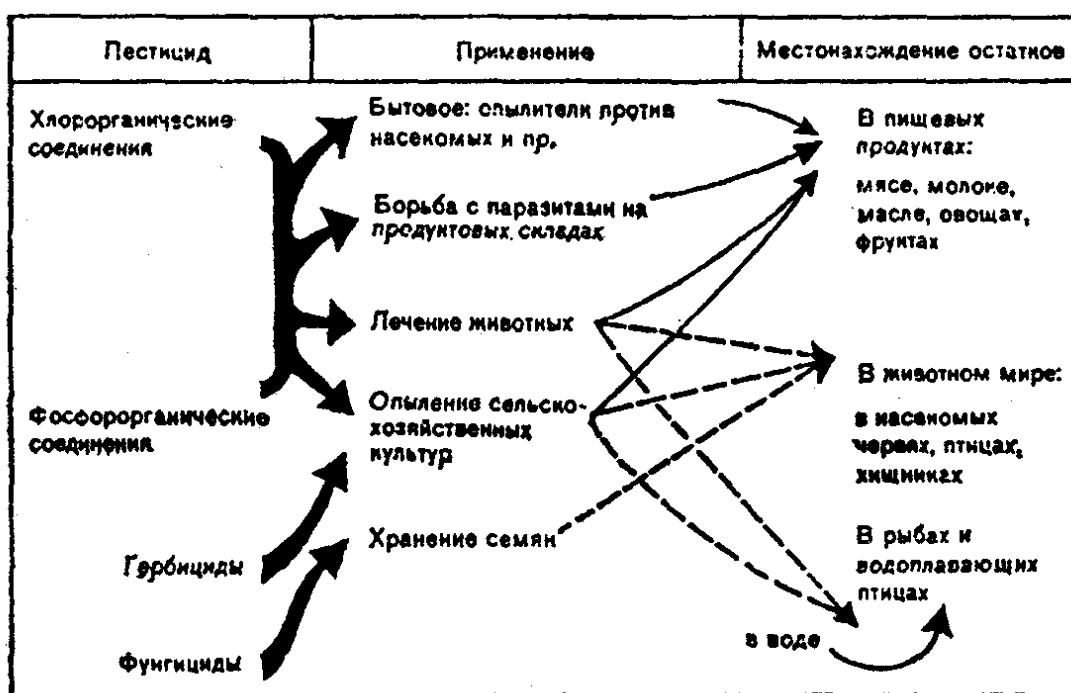


Рис. 18.22. Пестициды, их применение и концентрация остатков

Пестициды или продукты их распада и превращения по отношению к почвенным микроорганизмам, которые в значительной степени определяют плодородие почвы, действуют по-разному:

- угнетают их рост (некоторые фунгициды и средства для дезинфекции почвы);
- действуют нейтрально-подавляюще — большинство инсектицидов;
- изменяют их видовой состав в течение определенного периода.

Пестициды прямо или косвенно влияют на доступность питательных элементов, которые, в свою очередь, воздействуют на персистентность химических средств защиты растений непосредственно химическим способом или изменением микробиологических процессов.

После применения пестицидов в сельском хозяйстве значительная часть их вымывается из почвы и попадает в водоемы. Они могут ухудшать вкус, запах и цвет пресной воды. Многие пестициды устойчивы в водной среде и могут накапливаться в отдельных органах животных. Установлено, что до 25% применяемых пестицидов попадает в водные экосистемы. Водный дренаж с полей, обработанных пестицидами, загрязняет не только небольшие водоемы, реки, но и эстуарии (широкое устье реки, впадающее в море или океан). В Средней Азии при орошении сельскохозяйственных культур коллекторно-дренажными водами выносятся 1,1—2,5% хлорор-ганических и 0,2—0,5% фосфорорганических препаратов от общего количества внесенных на поля. В сбросных водах содержится 11,5% хлорорганических соединений, которые используются при первой и второй обработках полей, и около 0,3% фосфорорганических пестицидов. Суммарный вынос пестицидов, включая и дефолианты, составляют 2,5—4,2% применяемых.

Заслуживает пристального внимания изучение путей миграции пестицидов, применяемых в рисоводстве. Они легко попадают в коллекторно-дренажные воды и разносятся ими на большие расстояния. Например, пропанид обнаруживается в лиманах Азовского и Черного морей. При анализе свыше десяти видов рыб (лινь, лещ, окунь, судак, тарань и др.) в органах и тканях был найден препарат и его метаболиты. Пропанид накапливается и в высших водных растениях. Водные организмы способны концентрировать пестициды, в большей или меньшей степени становясь источниками распространения их по трофическим цепям. Наибольшим коэффициентом кумуляции характеризуются водные беспозвоночные, особенно личинки некоторых насекомых и ракообразных (рис. 18.23).

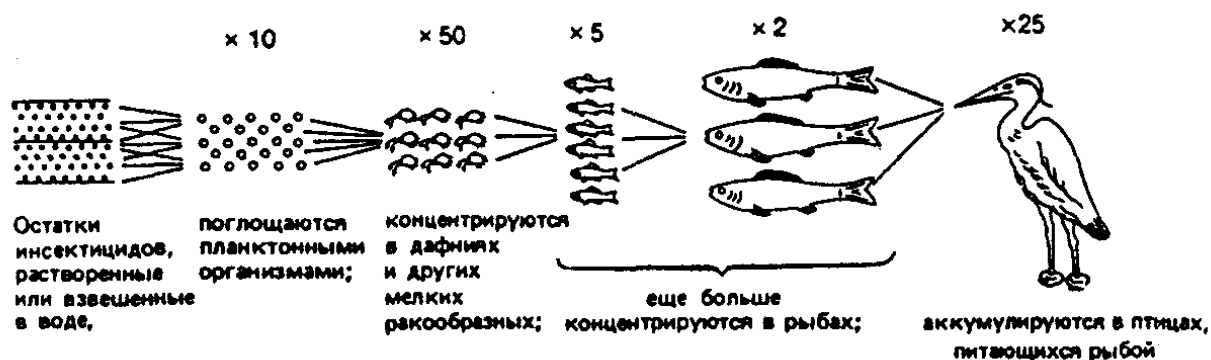


Рис. 18.23. Накопление инсектицидов в пищевых цепях (по Eichler, 1969)

Таким образом, применение пестицидов влечет за собой отрицательные последствия для отдельных видов и биоценозов в целом. С экологической точки зрения, различают несколько форм воздействия пестицидов. Первая категория форм воздействия называется *демэкологической* и выражается совокупностью нарушающих воздействий на уровне популяций отдельных видов, чувствительных к какому-либо фитосанитарному веществу. Последствия подобных воздействий проявляются быстро и обусловлены повышенной токсичностью таких веществ для видов растений и животных. Это вымирание определенной части особей, входящих в состав зараженной популяции, прямо пропорциональное дозе примененного вещества. Пестицид является экологическим фактором, который не зависит от плотности популяции, т. е. какой бы ни была численность популяции, занимающей определенную территорию, данная концентрация пестицидов вызовет одинаковый процент смертности в популяции. Другие демэкологические эффекты характеризуются замедленным действием. Например, есть пестициды, как уже было отмечено выше, обладающие свойством накапливаться в пищевой цепи до тех пор, пока животное — пищевой объект хищника — не достигнет критического порога, с которого начинается хроническая интоксикация (рис. 18.24.2),

Помимо высокого уровня смертности вследствие хронической интоксикации, имеется и другая форма влияния пестицидов на биологические виды, не столь явная, но не менее вредная, которая выражается в уменьшении биотического потенциала вида (рис. 18.24.3).

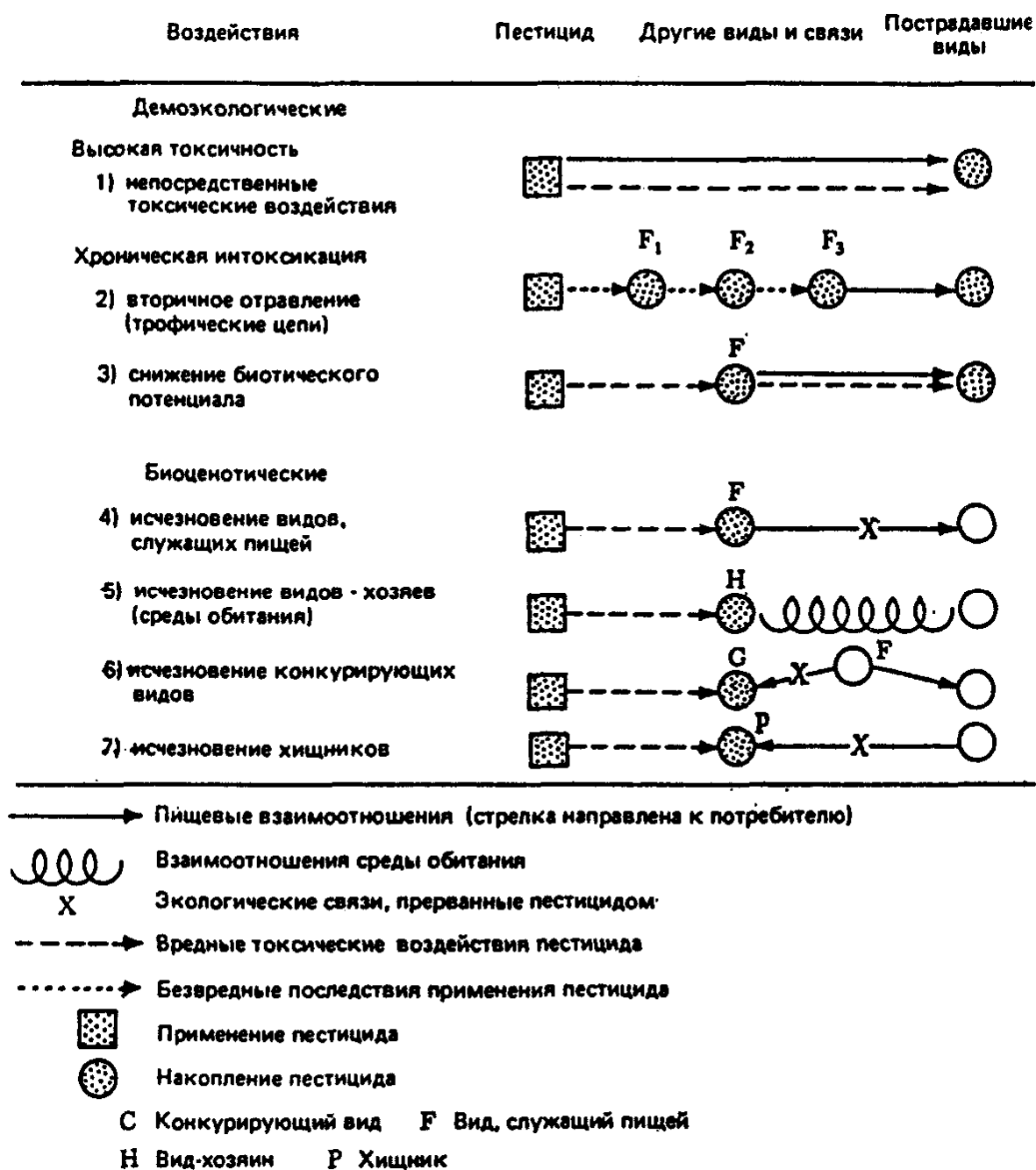


Рис. 18.24. Основные последствия экологического воздействия пестицидов (по Moore, 1967)

Хроническая интоксикация может изменить коэффициент рождаемости путем снижения обычной плодовитости, или снижения выживаемости яиц и молодняка, или в связи с действием указанных факторов одновременно. Эти отрицательные влияния сказываются на биотическом потенциале и в худшем случае могут привести к полной бесплодности популяции, подвергшейся интоксикации. Наряду с демэкологическими воздействиями пестицидов различают и *биоценотические воздействия*. Так, если какое-то животное абсолютно нечувствительно к данному пестициду, все же численность его популяции может значительно уменьшиться из-

за уничтожения тех растений или животных, которые служат ему добычей или пищей (рис. 18.24.4). С другой стороны, разрушение гербицидами растения-хозяина исключает из экосистемы тех насекомых и других беспозвоночных, для которых это растение служило пристанищем и на котором они паразитировали.

Другие экологические последствия применения пестицидов характеризуются возрастанием численности популяций, плотность которых до применения пестицидов была относительно небольшой. Рост численности популяции может быть обусловлен исчезновением конкурирующего вида, имеющего аналогичные требования к корму и условиям гнездования или по-давлением хищников и паразитов.

Применение пестицидов вызывает необратимые потрясения структуры биоценоза, часто называемого нарушением биологического равновесия (рис. 18.24.6, 7). Иногда оно, как это ни парадоксально, проявляется в увеличении численности этой популяции, которую собирались уничтожить.

В связи с этим применение пестицидов в сельском хозяйстве должно быть строго регламентировано и использоваться только в том случае, когда другие методы защиты (агротехнические, селекционные, биологические и др.) не позволяют избежать потерь урожая возделываемых культур от вредителей, болезней и сорняков.

18.8. Проблема охраны земельных ресурсов

Процессы и явления, снижающие почвенное плодородие, разрушающие земельные ресурсы страны, уменьшающие площадь сельскохозяйственных земель, с некоторой условностью можно разделить на четыре группы.

1. Природные процессы, неблагоприятное воздействие которых на почвенный покров предотвратить нельзя. Это землетрясения, извержения вулканов, кареты, оплывание почв на склонах и т. д.

2. Природные процессы, которые человек иногда может в какой-то мере предотвратить или уменьшить их неблагоприятное воздействие на почву. В некоторых случаях хозяйственная деятельность человека активизирует проявление этих природных процессов. Например, боковая речная эрозия, разрушение берегов морей, озер, водохранилищ волнами, осыпи горных пород, сход селей и занос ценных земель селевыми наносами. Первичное засоление почв вследствие испарения грунтовых вод, содержащих большое количество солей, солёности почвообразующей породы и других факторов. Проявление смыва и размыва почв, а также бурь при экстремальных сильных ливнях и очень сильных ветрах, имеющих чрезвычайно редкую повторяемость. Наводнения и сопровождающийся при этом смыв пахотного слоя обрабатываемых пойм и занос плодородных почв пойм бесплодным слоем аллювия — песком, галькой.

3. Природные процессы, интенсивное проявление которых во многом обусловлено неразумной хозяйственной деятельностью человека. Это в первую очередь интенсивный смыв и размыв почвы поверхностным стоком временных водных потоков и погребение плодородных почв балок и долин продуктами эрозии

— менее плодородными наносами. Интенсивное выдувание почв и погребение плодородных почв навейным слоем менее плодородных наносов. Занос почв подвижными песками. Вторичное засоление почв, связанное с избыточным поливом, особенно без дренажа, в аридной зоне, при высокой минерализации грунтовых вод. Заболачивание почв в связи с подъемом грунтовых вод, вызываемым ростом русловых наносов, заполнением водохранилищ и другими причинами.

4. Явления, целиком связанные с хозяйственной деятельностью человека. Это в первую очередь загрязнение почв токсическими выбросами, поступающими в атмосферу при работе промышленных предприятий и транспорта. Разрушение почвенной структуры и очень сильное уплотнение почв в результате чрезмерной обработки почв, особенно тяжелыми машинами. Снижение плодородия от неправильного применения удобрений и пестицидов. Смещение по склону верхнего слоя почвы при вспашке холмистых возвышенностей плугами с односторонним отвалом пласта вниз по склону. Разрушение почвы пастбищных склонов при интенсивной нерегулируемой пастьбе скота. Разрушение почв при трелевке лесоматериала. Разрушение почвенного покрова при разработке месторождений полезных ископаемых. Пересушивание почвы при неправильном проведении осушительных мелиорации. Необоснованное отчуждение ценных сельскохозяйственных земель для использования в других отраслях народного хозяйства.

Вместе с тем приведенное разделение относительно. В связи с особенностями природных условий территории и хозяйственного использования земель некоторые процессы из первой группы могут быть перенесены во вторую и даже в третью и наоборот. В разных регионах страны влияние этих процессов на уровень снижения плодородия почв и разрушения земель различно. В одних районах самым главным бичом является вторичное засоление почв, в других — заболачивание, в третьих — занос сыпучими песками, в четвертых — разрушение почв оползнями. Следовательно, в различных зонах страны должны применяться и разные меры по охране почв от воздействия неблагоприятных процессов, ведущих к снижению плодородия почв, к разрушению земель.

Например, для Южного Зауралья, для многих районов Сибири главной опасностью для почв является дефляция. Для северозападных регионов России основная беда — переувлажнение почв, их заболачивание. Из всех неблагоприятных процессов наибольшее значение имеет в целом для страны защита почв от водной эрозии и ветровой эрозии (дефляции).

Для ответа на вопрос: почему защита почв от ветровой и водной эрозии отнесена к числу важнейших задач? — нужно рассмотреть, какой ущерб наносит или может нанести эрозия почв, если не принять меры по ее предупреждению.

Эрозия представляет собой разрушение и снос почвенного покрова, иногда и почвообразующих пород потоками воды или ветром. При этом разрушается самый верхний, плодородный слой почвы.

Если в сельскохозяйственном предприятии имеется 10 тыс. га пахотных земель, расположенных на склонах, то при годовом смыве 30 т почвы с гектара (слой почвы 3,5 мм) общая потеря почвы составит 300 тыс. т. Это 100 тыс. трехтонных

автомашин, нагруженных почвой. При содержании в пахотном слое 4% гумуса (есть черноземы, в которых содержание гумуса достигает 10%) общая годовая потеря его составит 12 тыс. т. В этой почве содержится около 600 т азота. Для того чтобы компенсировать такое количество гумуса и азота, потребуется вывезти на поля 40—60 тыс. т навоза.

При содержании в почве 0,2% фосфора и 2% калия при таком количестве смываемой почвы ежегодная потеря фосфора составит 600 т и калия — 6 тыс. т.

Зерно, например, пшеницы, с эродированных полей меньше содержит белка, крахмала, клейковины, микроэлементов и может являться причиной различных заболеваний человека. Водная эрозия вызывает образование оврагов и вывод земель из сельскохозяйственного пользования (рис. 18.25).

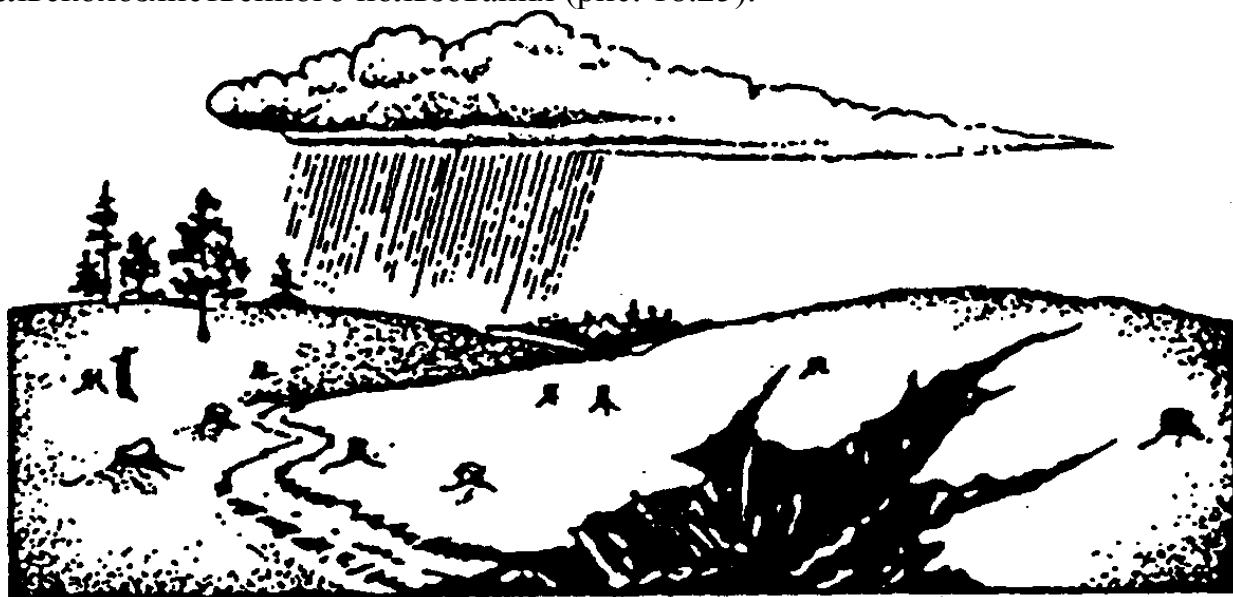


Рис. 18.25. Эрозия почвы и образование оврага
(по Е. А. Криксунову и др., 1995)

Опасна и ветровая эрозия. Так, местная ветровая эрозия в виде низовой поземки засекает на своем пути сельскохозяйственные культуры, снижает их урожайность (рис. 18.26).

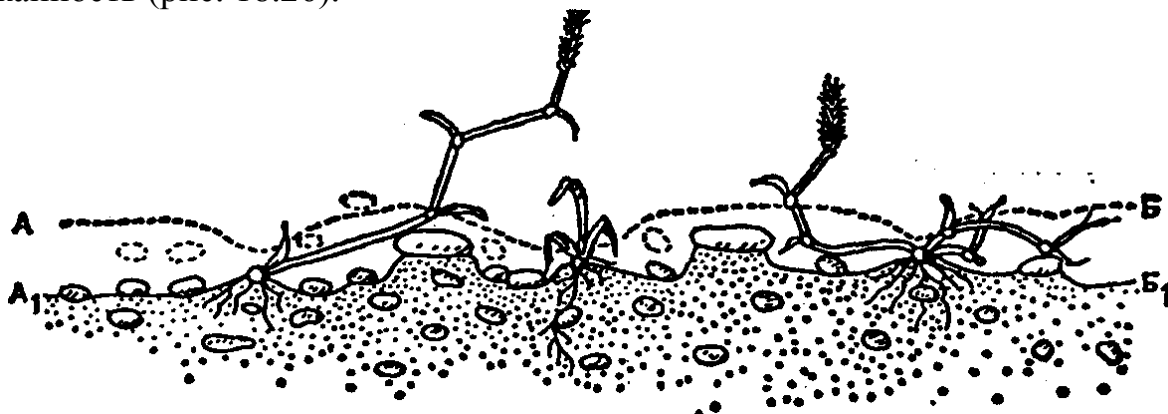


Рис. 18.26. Ветровая эрозия на поле ржи (по С. С. Соболеву):

А—Б — первоначальный рельеф пашни после посева ржи;

А₁—Б₁, — микрорельеф того же участка пашни, измельченный ветровой эрозией

Возникновение и развитие эрозийных процессов определяется взаимодействием многих факторов: это климат, рельеф, геология, почвы, растительность, экономические условия. Между всеми факторами, создающими возможность для проявления эрозии, существует тесная взаимосвязь. При одном сочетании условий климата, рельефа, геологии, почв и растительности эрозия вообще не возникает; при другом может появиться ее возникновение; при третьем эрозия не только появляется, но и примет катастрофический характер.

В целом же следует сказать, что для создания плодородного слоя мощностью 18 см природа затрачивает от 1400 до 7000 лет, так как почвообразование идет со скоростью 0,5—2 см в 100 лет. Разрушение этого слоя эрозией может произойти за 20—30 лет, а иногда за один ливень или пыльную бурю.

Распашка обширных площадей в России и других странах стала причиной пыльных бурь и гибели миллионов гектаров плодороднейших земель. Эрозия почвы в XX в. стала всемирным злом. Подсчитано, что в результате водной и ветровой эрозии в этот период на планете потеряно 2 млрд га плодородных земель активного сельскохозяйственного использования. В России очень большой уровень эродированности почв имеют хозяйства южной части центрального района Нечерноземной зоны. В Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областях площадь подверженных эрозии земель составляет около 2 млн га.

В Курганской области (Южное Зауралье) площадь под эрозионными и эрозионно опасными землями составляет 442,2 тыс. га, в том числе 315,3 тыс. га пашни. Эрозионно опасных земель по водной эрозии насчитывается 113,1 тыс. га, по ветровой — 209,8 тыс. га, подверженных водной эрозии — 60,6 тыс. га, ветровой — 58,1 тыс. га. Площадь оврагов — 521 тыс. га.

Потери пашни значительны и по другим причинам и во многих случаях их можно избежать.

Избыточное орошение, в первую очередь в условиях жаркого климата, может вызывать засоление почв и выпадение их из сельскохозяйственного оборота.

Радиоактивное загрязнение почвы несет большую опасность. Из почвы радиоактивные вещества попадают в растения, затем в организмы животных и человека, накапливаются в них, вызывая различные заболевания. Долгоживущие радиоактивные элементы сохраняются в экосистемах сотни лет.

Нередко на наших полях видишь, как прямо через ниву «шагает» линия электропередач, параллельно, метров через двести, поле пересекает свежая траншея строящегося газопровода, а чуть в стороне пролегает автострада с полями отчуждения. Если эти коммуникации совместить, то урон пашни сократится. Есть и еще одна проблема охраны пахотных земель. Она касается сохранения плодородия почв. Речь идет о загрязнении земель отходами тепловых электростанций, промышленных предприятий, автотранспорта, добычи полезных ископаемых: карьеры, отвалы.

Загрязняют пашню не только промышленные предприятия, но и земледельцы. Бедствием для пашни стали «отходы крупных ферм и животноводческих комплексов». Парадокс — навоз, извечный спутник плодородия, в неумелых руках на долгое время выводит из строя поля вблизи ферм. Перед учеными,

конструкторами, руководителями и специалистами хозяйств, фермерами стоит задача — разработать надежные методы утилизации отходов животноводства. И хотелось бы здесь привести слова Поли Вихровой из романа Л. Леонова «Русский лес»: «Вот мы все о будущем, о Родине твердим, словно они за горами. А если бы каждый всерьез подзаялся ею в радиусе шажков хоть на десяток вокруг себя, да прибрал бы эти 314 квадратных метров, как комнату свою, как рабочее место, как стол, где пища твоя стоит, да кабы приласкал землю-то свою в полную силу...»

Повышение эффективности использования земель связано с выполнением целого ряда мероприятий. К ним относятся: совершенствование структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур; введение и освоение рациональной системы севооборотов; развитие семеноводства и внедрение районированных сортов; применение повторных, пожнивных и других посевов, увеличивающих выход продукции с гектара пашни; борьба с вредителями, болезнями и сорняками; проведение трансформации, мелиорации и улучшения угодий; широкое применение органических и минеральных удобрений; правильной агротехники и рациональное использование сельскохозяйственной техники.

Почвозащитные мероприятия должны проводиться в комплексе. Комплексность определяется мелиоративно эффективным и экономически целесообразным сочетанием четырех групп почвозащитных мероприятий: организационно-хозяйственных, агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических. *Организационно-хозяйственные мероприятия* включают установление правильного сочетания и взаимоувязанного размещения на местности необходимых организации территории (границ полей, дорог и т. д.) и остальных трех групп почвозащитных мероприятий с учетом природно-экономических условий хозяйства.

Агротехнические почвозащитные мероприятия проводятся во всех зонах и при любых природно-экономических условиях и подразделяются на следующие подгруппы.

1. Фитомелиоративные, включающие в себя приемы по защите почв от эрозии путем высева однолетних и многолетних трав (рациональная система севооборотов, совершенствование в них сортового состава культур, контурный и полосный посев, применение пожнивных, поукосных и других вариантов совмещенных посевов, поверхностное и коренное улучшение кормовых угодий и т. д.).

2. Приемы почвозащитной обработки почв. Они подразделяются на приемы, увеличивающие скорость впитывания влаги в почву путем улучшения ее водопроницаемости и увеличения емкости почвенных пор (глубокая вспашка и рыхление, щелевание, кротование и т. д.); приемы, снижающие скорость отекания воды, задерживающие ее в микропонижениях путем создания микрорельефа и шероховатости почвы (обвалование и бороздование, лункование, микролиммирование и т. д.); приемы, снижающие силу ветра в приземном слое (плоскорезная обработка, посев по стерне и т. д.).

3. Снегозадержание, и регулирование снеготаяния (посев кулис, валкование, укатка и полосное зачернение снега и т. д.).

4. Агротехнические приемы повышения плодородия эродированных почв,

основанные на внесении повышенных норм органических, минеральных и бактериальных удобрений, микроудобрений, известковании кислых и гипсовании засоленных смытых почв.

5. Агрофизические приемы повышения противоэрозионной устойчивости почв, основанные на их обработке полимерами-структурообразователями и латексами, внесение различных препаратов.

Лесомелиоративные почвозащитные мероприятия заключаются в посадке лесных полос и массивов. В зависимости от почвозащитного значения они подразделяются на приводораздельные, водерегулирующие, полезащитные, прибалочные и приовражные лесные полосы, массивные лесонасаждения на склонах, по дну оврагов и балок, в песках, меловых обнажениях и других участках, не пригодных для использования в сельском хозяйстве и т. д.

Размещение лесных полос, установление их схемы, ширины и конструкции производится исходя из существующей облесенности, режима выпадения осадков, направления ветров, характеристики рельефа, почв и т. д.

Гидромелиоративные почвозащитные сооружения по своему назначению подразделяются на следующие группы:

— водозадерживающие (водозадерживающие валы, горизонтальные валы с широким основанием, лиманы, пруды, плотины и т. д.);

— водонаправляющие (водонаправляющие валы, валы-распылители стока, водоотводные каналы на склонах и т. д.);

— водосбросные (запруды, перепады, быстротоки, водосбросы и т. д.).

К гидротехническим мероприятиям относится также подготовка к сельскохозяйственному использованию сильно расчлененных линейных эрозий или крутых склоновых земель (засыпка промоин и мелких оврагов, выполаживание крупных оврагов, террасирование крупных склонов и т. д.).

Из большого количества вышеперечисленных мероприятий для конкретных условий, зональности выбираются наиболее эффективные.

Так, в *зоне избыточного и достаточного увлажнения*, например, в Нечерноземье, система почвозащитных мероприятий должна сочетаться с мерами по осушению избыточно увлажненных земель. В *зоне неустойчивого увлажнения* из агротехнических мероприятий приобретают наибольшее значение водозадерживающие приемы обработки почв: контурная и безотвальная обработка, глубокая вспашка с почвоуглублением, бороздование, лункование. Здесь проводится снегозадержание и регулирование его таяния.

В *зоне засушливой степи* меры по защите почв от эрозии обязательно сочетаются с мероприятиями по ослаблению действия атмосферной и почвенной засухи. Приемы обработки почв в этих условиях должны не только предотвращать склоновый сток, но и уменьшить излишнее испарение почвенной влаги. В связи с этим меньше применяются агроприемы, увеличивающие поверхность испарения: бороздование, валкование, лункование и др. Вместо открытых борозд применяют полосное рыхление, щелевание и кротование почвы. Большое значение получают мероприятия, направленные на максимальное задержание снега и равномерное его таяние.

В районах с развитой ветровой эрозией важнейшее значение имеют агротехнические и лесомелиоративные мероприятия. Так, в районах Восточной Сибири с развитой ветровой эрозией основным мероприятием на легких по механическому составу почвах является полосное размещение культур с высоким процентом (50%) многолетних трав сенокосного и пастбищного назначения, а также полосное (шириной 25—30 м) залужение сильно эродированных земель. Обязательна плоскорезная обработка и оставление стерни на посевах зерновых и однолетних культур.

18.9. Альтернативное земледелие

Отрицательные последствия интенсификации земледелия способствовали развитию с начала 60-х гг. XX в. за рубежом, а в дальнейшем и нашей стране, альтернативного земледелия, которое часто называют биологическим, биодинамическим или органическим. *Альтернативное земледелие*, по мнению зарубежных ученых, — это не система, а концепция, новый подход к земледелию, группа методов, этика отношения к земле.

Ученые считают, что современное сельское хозяйство уподобилось промышленному производству, в земледелии используется подход, характерный для промышленности: в почву поставляют сырье в виде посевного материала, удобрений, пестицидов и получают готовую продукцию. По их мнению, такое земледелие можно назвать химическим или технологическим, а с учетом повсеместного применения — традиционным.

Сущность альтернативного земледелия заключается в полном или частичном отказе от синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста и кормовых добавок. Агротехнические мероприятия основываются на строгом соблюдении севооборотов, введении в их состав бобовых культур, сохранении растительных остатков, применении навоза, компостов и сидератов, проведении механических культивации, использовании биологического метода защиты растений.

Целью альтернативного земледелия является получение продукции, не содержащей остаточных количеств агрохимикатов, сохранение почвенного плодородия и в конечном счете охрана окружающей среды.

Концепция альтернативного земледелия представляется более сложной. Если в традиционном земледелии к тем или иным явлениям существует функциональный и линейный подход, то в альтернативном земледелии — целостный подход. Так, агротехнические мероприятия в нем рассматриваются в комплексе со всеми возможными последствиями для почвы, флоры и фауны.

Почву в альтернативном земледелии принимают практически за живой организм со сложными физико-химическими и биологическими процессами. Обработываемая почва является сосредоточением многочисленных реакций обмена веществ, основную роль в которых играют почвообитающие организмы (эдафон), включая и почвенные микроорганизмы. Обеспечить сбалансированным питанием растения может только почва с высокой биологической активностью, которая в альтернативном земледелии обеспечивается за счет внесения органических

удобрений, главным образом компостов, рассматриваемых как питательный субстрат для почвенных микроорганизмов. Компост приводит в движение большие резервы питательных веществ, находящихся в почве, включая фосфор, калий, делая их доступными для растений. Внесение минеральных удобрений в почву допускается только в составе компостов. Следовательно, в альтернативном земледелии считается необходимым удобрять почву, а не растения, в основу положен принцип: «От здоровой почвы — к здоровому растению, животному и человеку».

Основным аспектом альтернативного земледелия является сохранение первоначальной структуры почвы и эдафона. Предпочтение отдается мероприятиям, которые способствуют сохранению эдафона, стимулируют биологическую активность почвы, способствуют накоплению гумуса в почве, направлены на уничтожение сорняков, препятствуют заражению почвы возбудителями различных болезней.

При обработке почвы с сохранением эдафона учитываются следующие факторы:

- для каждого почвенного горизонта характерен свой особый эдафон;
- эдафон каждого почвенного горизонта требует особых условий обитания (уровень аэрации, влажность, pH, питательный субстрат и температура);
- проведение любого мероприятия по обработке почвы является вмешательством в эту сложную систему. Ее восстановление происходит в течение длительного времени.

Обработка почвы в альтернативном земледелии основывается на следующих принципах:

- не допускается внесение в глубокие почвенные горизонты неперегнивших органических веществ; необходимо осуществлять лишь их мелкую заделку, с тем чтобы они перегнивали в поверхностном слое;
- в зависимости от особенностей альтернативного земледелия применяют навозно-земляной и обычный компост (в биодинамическом земледелии) или свежий навоз (в биоорганическом земледелии);
- рекомендуется по возможности отказаться от отвальной вспашки почвы; при необходимости в такой вспашке следует избегать глубокой обработки почвы, так как она приводит к снижению содержания питательных веществ в корневой зоне, а в засушливых условиях — к разрушению водоносного слоя;
- рыхление почвы позволяет сохранить активность эдафона; отдается предпочтение обработке почвы рыхлителями.

В сохранении плодородия почвы роль дождевых червей широко известна. В целях их сохранения в альтернативном земледелии рекомендуется:

- отказаться от применения ротационных и режущих почвообрабатывающих орудий;
- отказаться от осенней и весенней обработок увлажненных участков из-за обитания дождевых червей в этот период под самой поверхностью почвы;
- путем мульчирования почвы и поверхностного внесения органических удобрений необходимо создать благоприятные условия для обитания дождевых

червей;

— отказаться от бессменной культуры, которая интенсивно истощает запас питательных веществ в почве.

Большое внимание в альтернативном земледелии уделяется борьбе с уплотнением почвы. Применяется только легкая сельскохозяйственная техника.

Не допускается применение химических средств защиты растений. Для борьбы с вредителями, болезнями и сорняками при возделывании сельскохозяйственных культур используются исключительно агротехнические и биологические методы.

Для хозяйств с альтернативным земледелием, в которых содержатся животные, вместо сложных кормовых смесей, включающих многочисленные синтетические кормовые добавки, характерно возвращение к естественным (натуральным) кормам. Распространение альтернативного земледелия заставляет ученых задуматься о перспективах его развития. Можно ли, следуя в этом направлении, решить назревшие экологические проблемы? Сможет ли альтернативное земледелие стать реальной альтернативой традиционному, т. е. успешно решить проблему обеспечения растущего населения планеты качественными продуктами питания?

Большинство методов альтернативного земледелия хорошо известны, проверены многовековой практикой ведения сельского хозяйства. Отказ от минеральных удобрений и пестицидов позволяет получать продукцию, не содержащую остаточных количеств этих агрохимикатов, а следовательно, обладающую более высокой биологической ценностью. Она пользуется большим спросом у населения, несмотря на более высокие цены. Замена минеральных удобрений навозом и компостами обогащает почву органическим веществом и способствует росту численности организмов, населяющих почву, которые играют решающую роль в повышении почвенного плодородия. Почвозащитная обработка, строгое соблюдение севооборотов препятствуют развитию эрозии и уменьшают потери питательных элементов из почвы. Отказ от минеральных удобрений и пестицидов (при их высокой стоимости) дает значительную экономию денежных средств и энергии. Как итог, применение альтернативных методов оказывает положительное влияние на состояние окружающей среды и здоровье человека. К числу недостатков альтернативного земледелия относят его повышенную зависимость от природных факторов, необходимость возделывания на больших площадях кормовых культур для нужд животноводства и сокращение за счет этого площадей под другими важными культурами, более низкий уровень урожайности сельскохозяйственных культур, повышение трудозатрат на их производство за счет приготовления и внесения компостов по сравнению с традиционной системой.

Из-за этих недостатков многие ученые и практики относятся с достаточной осторожностью к альтернативному земледелию. Опыт передовых хозяйств в различных регионах страны показывает, что можно вести высокоинтенсивное земледелие, получать высокие урожаи и не допускать возникновения отрицательных явлений. По мнению целого ряда ученых, широкомасштабное применение альтернативного земледелия в чистом виде в России с целью решения

экологических проблем вряд ли возможно. Они выражают несогласие с отдельными составляющими концепции альтернативного земледелия, например в отношении полного отказа от минеральных удобрений, которые, на их взгляд, не обеспечивают полного возврата отчуждаемых с урожаем питательных веществ, особенно фосфора. Биологические средства повышения почвенного плодородия не рекомендуют противопоставлять минеральным удобрениям, пестицидам и другим средствам химизации, так как при правильном использовании агрохимикатов действие биологических факторов усиливается. Реальной, на наш взгляд, является разработка *интегрированного земледелия*, которое включало бы лучшие черты альтернативных систем и в то же время допускало бы в разумных размерах применение минеральных удобрений и пестицидов. Такое земледелие не только отвечало бы требованиям интенсивного ведения растениеводства с использованием современных достижений науки и техники, но и соответствовало бы экологическим задачам и максимальной реутилизации всех отходов сельскохозяйственного производства.

18.10. Рекультивация земель

Земли, на которых в результате хозяйственной деятельности изменены гидрологический режим и рельеф местности, разрушен и загрязнен почвенный покров, уничтожена растительность, называют *нарушенными*. Расширение добычи полезных ископаемых, особенно открытым способом, привело к образованию в стране обширных площадей нарушенных земель. Нарушение природных ландшафтов горно-рудной промышленностью сопряжено с нанесением окружающей среде огромного ущерба.

Все нарушенные территории делят на две группы:

— земли с насыпным грунтом — промышленные отходы, отвалы подземных горных разработок (терриконы);

— территории, поврежденные в результате выемки грунта — карьеры и отвалы при открытых горных работах, провалы на месте подземных разработок.

Карьеры после открытой добычи также делятся в зависимости от метода разработки и геологии местности по глубине и виду полезного ископаемого. Отдельные карьеры занимают площади до 2—3 тыс. га. Их глубина достигает 100—200 м и более. Нарушенные участки оказывают неблагоприятные воздействия на территорию, примерно в 10 раз превышающую площадь очагов непосредственного нарушения. Во многих случаях отработанные участки превращаются в бросовые земли, а хаотическая поверхность их часто напоминает индустриальные пустыни.

Для использования нарушенных земель в хозяйственных целях необходимо их восстановление. Процесс восстановления нарушенных земель называют *рекультивацией*. Восстановление территорий осуществляется в четырех направлениях: для сельскохозяйственного использования (земледелие, животноводство), под лесные насаждения, под водоемы, жилищное и капитальное строительство. Обычно выделяют два этапа рекультивации: горнотехнический и биологический.

Горнотехнический этап состоит в подготовке территории: планировка

отвалов, придание удобной для использования формы, насыпание плодородных грунтов, создание подъездных путей и т. д.

Биологический этап заключается в восстановлении нарушенных земель путем выращивания сельскохозяйственных культур или посадки древесных пород.

Установлено, что при горизонтальном залегании полезных ископаемых можно возвращать в пахотные угодья до 70—85% всей нарушенной площади с продуктивностью рекультивированных земель на уровне исходных зональных почв, а в отдельных случаях даже превышать ее. Условием для успешной рекультивации земель является обоснование мощности снятия плодородного слоя почвы с участков, отводимых под горные разработки. Необходимо снимать наиболее плодородную часть почвенного профиля мощностью 45—60 см, например, обыкновенных черноземов.

Технологию создания рекультивированных земель целесообразно осуществлять таким образом, чтобы верхний плодородный слой укладывать на подготовленную, предварительно спланированную поверхность промышленных отвалов. Лучше всего складировать эту массу в отдельные штабеля или бурты высотой 5—15 м. При длительном хранении их засевают многолетними бобовыми травами. Для восстановления почв рекомендована толщина почвенного слоя 40—60 см как обеспечивающая урожаи зерновых культур на уровне ненарушенных земель.

Для месторождений с неглубоким залеганием от поверхности полезных ископаемых (15—30 м) применяют двухъярусную выемку и укладку нарушенной горной массы, в соответствии с которой неблагоприятные и малопродуктивные отложения отсыпаются в нижнюю часть отработанной части карьера, а благоприятные — на поверхность промышленных карьеров.

На рекультивированных землях рекомендованы: *парозерно-ропашные* и *травянозернопропашные* севообороты. Парозерно-ропашные севообороты вводят на рекультивированных землях с насыпным плодородным слоем 40—60 см, травянозернопропашные — на рекультивированных землях с меньшим плодородным слоем.

На рекультивированных землях необходимо вносить органические и минеральные удобрения в дозах на 20—30% выше, чем на рядом с ними расположенных старопахотных землях.

На рекультивированных землях целесообразно выращивать сады, размещать лесные насаждения, кормовые и лекарственные травы и т. д. В соответствии с видом хозяйственного использования различаются рекультивированные типы местности карьер-но-отвального типа ландшафта: пастбищный рекультивируемый, лесной, полевой, озерно-парковый. На основании многолетнего опыта работ Л. В. Моторина, В. А. Овчинников (1975) предложили схему классификации природно-техногенных ландшафтов, в которой учитывается роль как природных, так и антропогенных факторов в формировании этого вида ландшафта (рис. 18.27).



Рис. 18.27. Схема классификации природно-техногенных ландшафтов (по Л. В. Моториной, В. А. Овчинникову, 1975)

Классификация, несмотря на ряд спорных положений, имеет большое значение в систематизации различных техногенных форм нарушения поверхности. Такая типология позволит в будущем дифференцировать различные ландшафты по возможности их использования для проведения работ по рекультивации.

В России в 80—90-х гг. XX в. было рекультивировано более 0,5 млн га. «В Челябинской области,— писал Н. Терешко (1977), — с ранней весны до поздней осени на Бускульском, Кичигинском, Увельском карьерах, на Коркинских и Копейских отвалах, на Ми-асских золотых приисках не смолкает шум тракторов. Идет рекультивация земли. К каждой осени в строй возвращается несколько сотен гектаров земли. Но к каждой осени из строя выходит еще несколько тысяч. Количество ран на земле пока не уменьшается...»

18.11. Естественные луга и пастбища в агроэкосистемах

Луга и пастбища относятся к естественным кормовым угодьям. Термином «пастбище» называют кормовое угодье, которое используется для выпаса стад сельскохозяйственных животных. Луг или степь, используемые для заготовки зеленой массы или сена, называют *сенокосом*. От сенокосов пастбища отличаются не только способом хозяйственного их использования, но и целым рядом

экологических признаков. В отличие от сенокоса пастбище подвергается воздействию стада — экологического фактора, который оказывает влияние на почву, травостой и другие компоненты природного комплекса.

Естественные луга и пастбища в России и странах СНГ занимают площадь 320 млн га. Природные сенокосы (суходольные, низинные, приморские, пойменные, лиманные, степные, горные и др.) составляют 12% всей площади кормовых угодий. Они сосредоточены главным образом в России, Казахстане, в Белоруссии и на Украине. От всей площади природных пастбищ бывшего СССР на Казахстан приходится 55%, на государства Средней Азии — 21%, Российскую Федерацию — 18%.

Природные луга и пастбища неоднородны. Они различаются по условиям местообитания, видовому составу травостоя и обилию трав, поедаемости различными видами и группами животных, отавности, урожайности, производимой с единицы площади животноводческой продукции, сезонности, длительности использования и т. д. Кормовая ценность растений природных лугов и пастбищ изучена в нашей стране значительно лучше, чем в других странах мира. На лугах произрастает свыше 4000 видов трав, что составляет 23,3% всей флоры страны. Самое богатое видами семейство — сложноцветные (900 видов), за ним следуют злаки (350 видов), бобовые (250 видов). У осоковых, лютиковых и норичниковых по 200 видов. Достаточно обычны на лугах также зонтичные, гвоздичные, губоцветные. Злаки являются основными доминантами лугов, т. е. самыми обильными видами, которые играют основную роль в формировании урожая.

Однако злаки преобладают в луговых травостоях не всегда. При очень сильном выпасе в лесной зоне доминируют виды манжетки, а в лесостепной — подорожники, одуванчики, клевер ползучий, лапчатка гусиная. В горно-лесном поясе луга обычно формируются видами высокотравья. На местах летних лагерей разрастаются однолетние виды из числа разнотравья. Наконец, на переувлажненных почвах злаки замещают очень похожие на них по строению листьев осоковые. Луг отличается от «пашенных» агрофитоценозов. На пашне в ходе севооборота ежегодно или с перерывом в один год (звено многолетних трав) в жизнь сообщества вмешивается рыхлящая почву техника. По этой причине сообщество пшеницы и особенно кукурузы или картофеля всегда открыто для поселения сорных видов. Луг в отличие от такого агрофитоценоза закрыт для поселения сорняков, так как между входящими в него популяциями растений устанавливается режим конкуренции.

Идеи «второй зеленой революции» выдвигают естественные луга, сенокосы и пастбища на роль важнейших элементов агро-экологической системы. В обновленном сельскохозяйственном ландшафте площадь пашни должна сократиться, а для многолетних травяных сообществ — увеличиться. Ставится задача — добиться, чтобы они давали большую отдачу, причем как экономическую, так и экологическую. Это обосновывается следующим.

Во-первых, луга должны быть поставщиками самого дешевого и высококачественного корма для сельскохозяйственных животных (как пастбищного, так и сена, сенажа). При достаточном увлажнении внесение минеральных удобрений на луга экономически выгоднее, удобрения любой другой культуры, а обогащение

бобовыми во многих случаях позволяет либо полностью отказаться от минеральных азотных удобрений, либо резко снизить их расход. В луговых почвах процесс минерализации протекает менее интенсивно, чем гумусообразование, потому там нет отрицательного баланса органического вещества и нет нужды в навозе, как в пахотных почвах.

Во-вторых, луга вместе с лесами должны формировать экологический каркас агроландшафта, стабилизирующий биогеохимические циклы основных питательных веществ (азота, фосфора, калия), препятствовать развитию эрозии, поглощать и обезвреживать смытые с полей удобрения и пестициды, не допуская их попадания в водоемы.

В-третьих, зеленые луговые ковры ландшафтов помогают пашне, так как навоз содержит солнечную энергию, которую запасли растения. Это понимали и наши деды. Существует поговорка «Луг — мать поля». Заболевшая эрозией пашня обычно выводится из севооборота и засеивается луговыми травами. В этом случае она эффективно излечивается и восстанавливает утраченное плодородие. Даже включение многолетних трав в севооборот резко улучшает баланс питательных элементов почвы и компенсирует потери плодородия при выносе их зерновыми культурами.

В-четвертых, луга должны быть хранителями биологического разнообразия в агроэкосистемах. Там произрастают десятки видов ценнейших лекарственных трав и медоносов, сохраняются редкие и исчезающие виды. В луговых экосистемах находят пристанище сотни видов полезных насекомых. В охране экосистем и обеспечении животноводства кормами в последние десятилетия все большую роль играют сеяные луга, на которых высеваются наиболее ценные растения естественных лугов, улучшенные в ходе селекционной работы. По своей природе сеяные луга являются переходом от естественных многолетних травяных сообществ к полевым культурам. В этих посевах совмещается продуктивность полевых культур и устойчивость естественных лугов.

Луга, как естественные, так и сеяные, являются сложноорганизованными растительными сообществами, и любое воздействие человека (выпас, сенокошение, удобрение, полив) преломляется именно через систему отношений внутри сообщества. Не зная закономерностей организации этих сообществ, нельзя их ни правильно использовать, ни улучшить.

Изменения луговых сообществ при выпасе носят название *пастбищной дигрессии*. Скот влияет по-разному, в зависимости от вида, количества, длительности пребывания на пастбище и частоты повторного стравливания (рис. 18.28).

Выпас действует двояко: непосредственно на травостой, когда растения скусываются или обламываются при наступании копыт, и опосредованно — через изменение почвенного режима. Обычно почва при выпасе уплотняется, что может в южных районах вызвать ее засоление в результате усиления подъема вод по капиллярам и их испарения с поверхности. На влажной почве могут сформироваться кочки или особые скотобойные тропки на сухих склонах при пастьбе, например, овец. На песчаных почвах дерно может разрушаться и может приводить к усилению

ветровой эрозии. Отсюда выпас вызывает изменения конкурентных отношений в сообществах, и преимущества получают уже не те виды, которые могут активнее поглощать элементы минерального питания и воду, а те, которые менее вкусны для скота и более устойчивы к выпасу, имеют низкие и прижатые розетки листьев и стелющиеся стебли. Неплохо чувствуют себя на пастбищах и различные колючки (чертополохи) из-за того, что их скот не может есть.

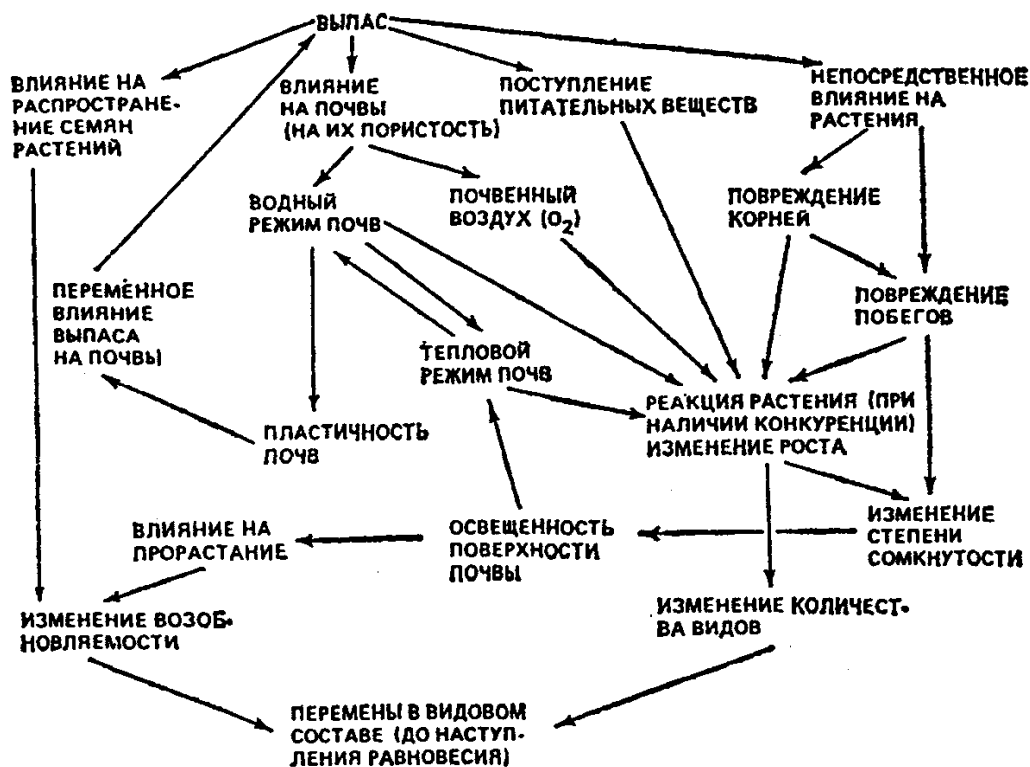


Рис. 18.28. Схема действия факторов выпаса (по А. Элленбергеру, 1963)

Умеренный выпас для большинства видов растений полезен, и даже возникает определенное взаимоприспособление травостоя и пасущегося скота. Травостой должен быть густым, высотой 10—20 см, чтобы было удобно за один захват получить сразу много зеленой массы. При умеренном выпасе именно такой удобный для кормления травостой и возникает в большинстве типов лугов. При чрезмерном выпасе «союз» травостоя и животных расстраивается, травостой начинает защищаться от пастбы, прижиматься к поверхности почвы, где его уже трудно есть, особенно крупному рогатому скоту.

Для того, чтобы наладить «сотрудничество» луга и скота, человек должен проводить нормированный выпас, т. е. строго рассчитать возможную продукцию пастбища, его отавность. Разделив пастбища на загоны, человек осуществляет регламентированный выпас скота в рамках пастбищеоборота. Каждый год один из загонов исключается из выпаса и отдыхает. В год отдыха желательно внести удобрения и скосить траву в поздний срок, чтобы в дернину могли осыпаться семена. После этого заделать их в почву путем боронования и другими приемами, не исключая и легкий выпас скота, обновив тем самым травостой.

При сильном нарушении травостоя в результате пастбищной дигрессии требуется его восстановление. В большинстве случаев достаточно на 3—5 лет прекратить выпас, и тогда произойдет уже автогенная сукцессия, называемая *постпастбищной демульти-ей* (восстановлением). При этом характер изменений в растительности практически будет зеркальным отражением тех перемен, которые происходили при пастбищной дигрессии: вновь будут усиливаться высокорослые и вкусные для скота растения. В том случае, когда травостой уже окончательно выбит и свыше 50% поверхности почвы оголилось, то лучше провести коренное улучшение и посеять травы.

Изменения луговых сообществ при сенокосении не столь заметны, как пастбищная дигрессия. Тем не менее, увидев засилье в травостое высокорослых представителей разнотравья, можно с уверенностью сказать: поляну несколько лет не косили или выкашивали слишком поздно. В травостое при сенокосении усиливаются злаки и ценные бобовые. Когда сенокосение проводится 1—2 раза, то хорошо чувствуют себя корневищные верховые злаки: кострец безостый, пырей ползучий. Если же к сенокосению добавляется выпас или при удобрении луга сенокосение проводится 3—4 раза, то преобладают рыхлокустовые (ежа сборная, овсяница луговая, тимофеевка луговая и т. д.), плотнокустовые (овсяница красная, щучка дернистая), злаки, а количество корневищных злаков, и в первую очередь костреца безостого, убывает.

При отсутствии ежегодного скашивания на поверхности почвы формируется «войлок» из старых листьев, меняется температурный режим, задерживается срок таяния снега, появляются мышевидные грызуны, которые разрыхляют почву и нарушают равномерность травостоя, способствуя появлению пятнистости, а затем поселению деревьев и кустарников.

Луговые растения приспособлены к ритмике сенокосения (рис. 18.29).

Практика показывает, что оптимальным для лугов является чередование раннего, среднего и позднего сенокосения, и поэтому в хозяйствах организуют сенокосооборот, где чередуются сроки скашивания разных участков. Это позволяет поддерживать высокое видовое разнообразие и продуктивность лугов.

Изучение сукцессии травостоев под влиянием удобрений имеет длительную историю. Установлено, что наиболее сильно влияет на состав травостоя внесение азотных удобрений. При этом оно тем сильнее, чем выше доза. Так, Б. М. Миркин (1991) проводил опыты с использованием удобрений по улучшению лугов поймы реки Уфы (Башкортостан), где преобладали верховые злаки: овсяница луговая, ежа сборная, кострец безостый, пырей ползучий, тимофеевка луговая и т. д.

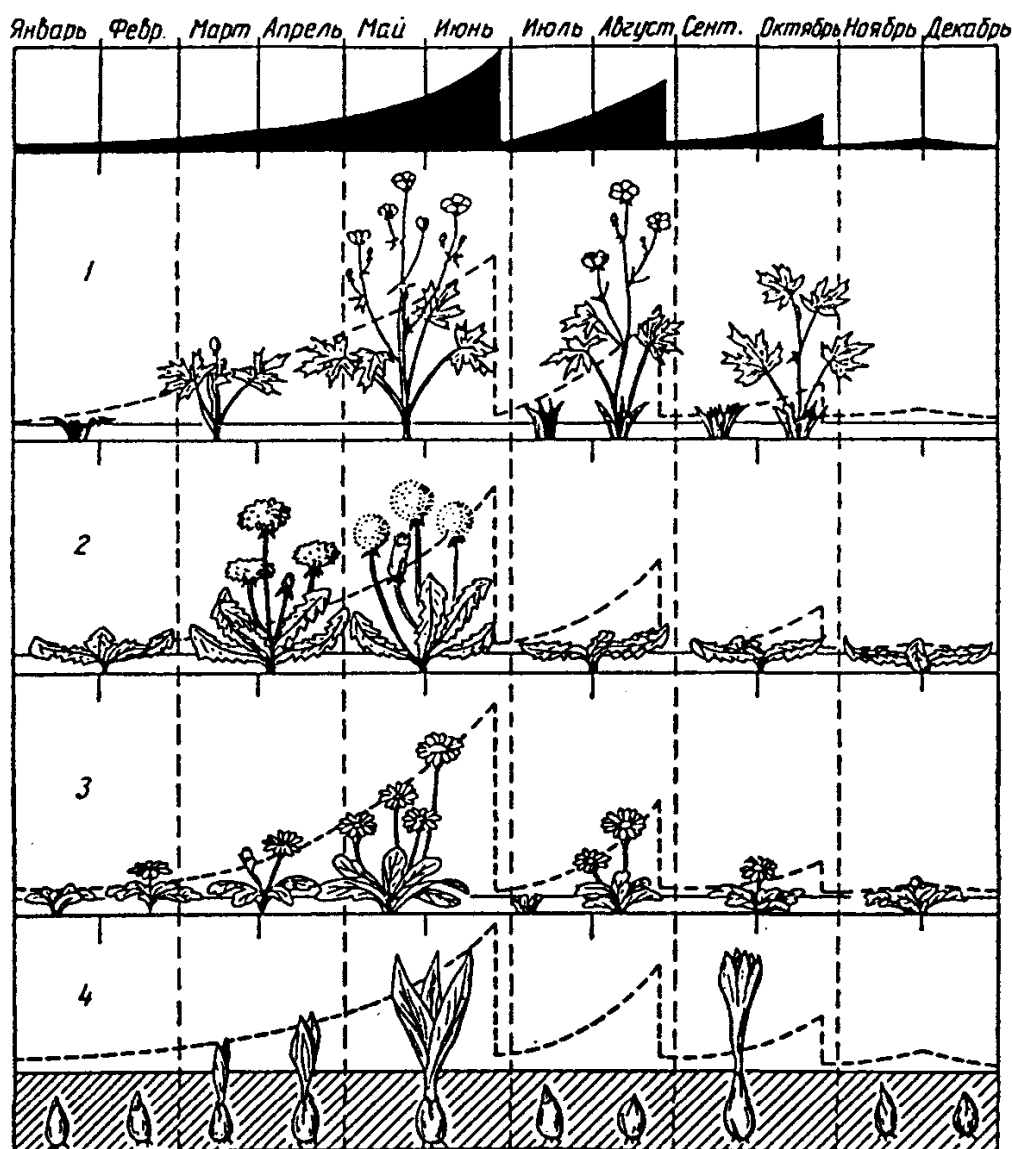


Рис. 18.29. Приспособление некоторых луговых растений к периодичности сенокоса (Stengel, Tischler, 1965):

1 — *Ranunculus acer*; 2 — *Taraxacum officinale*; 3 — *Bellis perennis*; 4 — *Colchicum autumnale*

Внесение 60 кг/га д. в. азота удваивало урожай, но в течение трех лет число видов, входящих в состав луговых сообществ, сократилось с 40 до 20, так как произошло вытеснение широколистными злаками бобовых и многих представителей разнотравья. При внесении же только фосфорно-калийных удобрений сокращение количества видов растений было незначительным. Удобрения вызывают и более глубокие изменения в луговых сообществах. В условиях дефицита влаги они становятся более мезофильными. Удобрения как бы компенсируют недостаток влаги. Это объясняется не только физиологически (азот повышает засухоустойчивость трав), но и экологически: более сомкнутые травостой меньше транспирируют и полностью исключают испарение воды с поверхности почвы. Внесение удобрений играет также роль нивелирующего фактора, уменьшая колебания по годам урожайности и ботанического состава сообщества. Урожай

становится более гарантированным даже в неблагоприятные по погодным условиям годы.

Внесение минеральных удобрений обедняет флору, поэтому целесообразно часть лугов использовать в естественном состоянии. Это особенно важно для горных районов, где при применении удобрений исчезают уникальные альпийские и субальпийские луга, сформированные видами бедных почв: овсяницей овечьей, белоусом, душистым колоском и т. д. Однако и после прекращения использования удобрений видовой состав растительности только приближается к исходным, естественным травостоям, но полностью не восстанавливается.

На лугах следует избегать применения химических средств защиты растений. Умело варьируя сроки скашивания и интенсивность пастбищных нагрузок, системы удобрений, подсев трав в разработанную дернину, можно улучшить травостой без обращения к опасным для окружающей среды и здоровья человека препаратам.

В целом же еще раз напомним, что рациональное использование лугов и пастбищ — верный путь сохранения растительных ресурсов на огромных территориях.

19. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

19.1. Среда жизни человека

Для обозначения совокупности экологических условий широко используются понятия «окружающая среда» и «среда обитания». При этом прежде всего подразумевается среда жизни человека.

Окружающая человека среда по Н.Ф. Реймерсу (1994) состоит из четырех взаимосвязанных компонентов-подсистем: а) собственно природной среды (уб) порожденной агротехнической среды — «второй природы», в) искусственной среды — «третьей природы» и г) социальной среды.

Природная среда, окружающая человека, — факторы чисто естественного или природно-антропогенного системного происхождения, прямо или косвенно, осознанно или неосознанно воздействующие на отдельного человека или человеческие коллективы, включая и все человечество. К этим факторам относят *энергетическое состояние среды* (тепловое и волновое, включая магнитное и гравитационное поля); *химический и динамический характер атмосферы*, *водный компонент* (влажность воздуха, зеленой поверхности, химический состав вод, их физика, само их наличие и соотношение с населенной сушей); *физический, химический и механический характер поверхности земли* (включая геоморфологические структуры — равнинность, холмистость, гористость и т. д.); *облик и состав биологической части экологических систем* (растительности, животного и микробного населения) и их *ландшафтных сочетаний*, в том числе сочетаний непахотных сельскохозяйственных и лесохозяйственных земель с естественными экосистемами; *степень сбалансированности и стационарности компонентов*, создающих климатические и пейзажные условия и обеспечивающих определенный ритм природных явлений, в том числе стихийно-разрушительного и иного характера, рассматриваемого как бедствие (землетрясения, наводнения, ураганы, природно-очаговые заболевания и т. д.); *плотность населения и взаимовлияние самих людей как биологический фактор*; информационная составляющая всех перечисленных явлений. Природная среда сохранилась там, где она была недоступна людям для успешного преобразования. Так, из общей площади суши 48 051 840 км² около 1/3 не несут видимых следов пребывания человека, в том числе в Антарктиде до 100 %, Северной Америке — 37,5%, России и странах СНГ — 33,6%, Австралии и Океании — 27,9%, Африке — 27,5%, Южной Америке — 20,8%, Азии — 13,6%, в Европе — 2,8% суши. Это главным образом суровые, мало пригодные для жизни земли с экстремальными для человека условиями существования.

Среда «второй природы», или *квазиприродная среда*, — все модификации природной среды, искусственно преобразованные людьми и характеризующиеся свойством отсутствия системного самоподдержания, т. е. постепенно разрушающиеся без постоянного регулирующего воздействия со стороны человека:

пахотные земли, культурные ландшафты и т. д.; грунтовые дороги; внешнее пространство населенных мест с его природными физико-химическими характеристиками и внутренней структурой (разграничением заборами, различными постройками, изменяющими тепловой и ветровой режимы, зелеными полосами, прудами и т. п.); зеленые насаждения (бульвары, газоны, ландшафтные парки, лесопарки, сады, дающие имитацию природной среды). Все эти образования имеют природное происхождение, представляют собой видоизмененную природную среду и не являются чисто искусственными, не существующими в природе.

«Третья природа», или артеприродная среда, — весь искусственный мир, созданный человеком, вещественно-энергетически не имеющий аналогов в естественной природе, системно чуждый ей и без непрерывного обновления немедленно начинающий разрушаться. Сюда можно отнести асфальт и бетон современных городов, внутреннее пространство мест жизни и работы, транспорта и предприятий сферы обслуживания, технологическое оборудование, транспортные объекты, мебель и другие вещи, всю синтетику и т. д.

Современного человека главным образом окружает артеприродная среда (рис. 19.1).

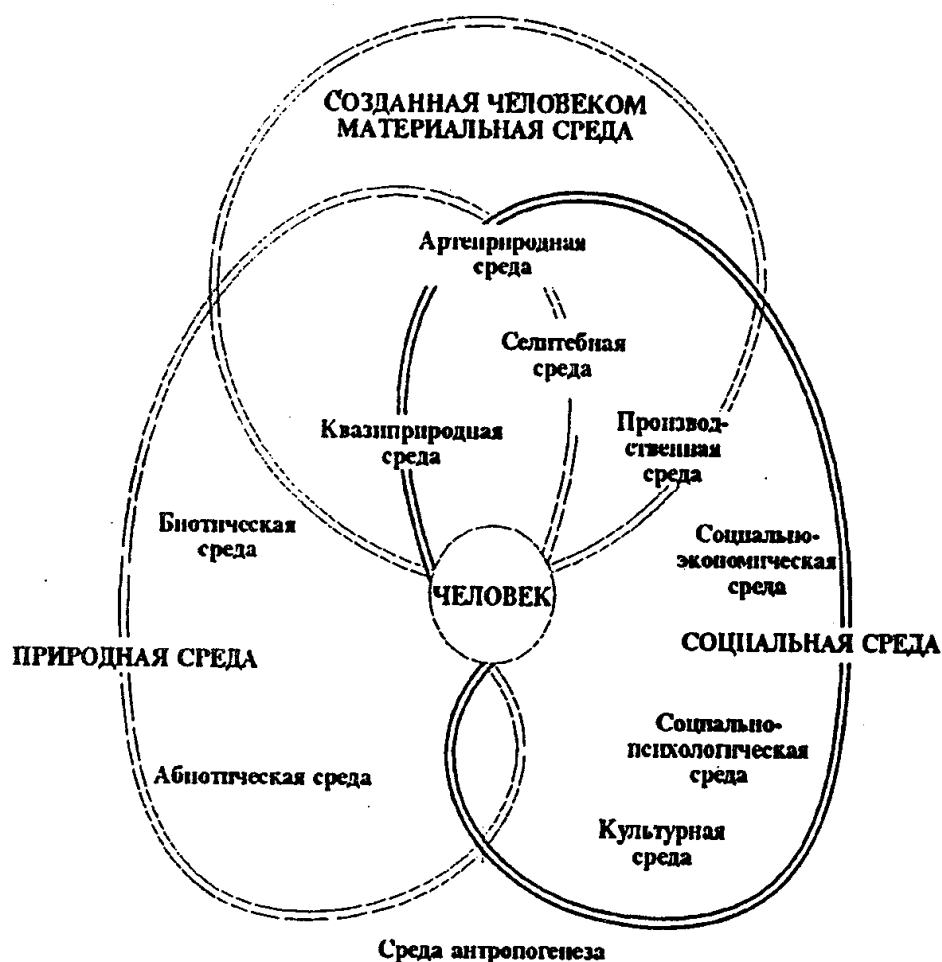


Рис. 19.1. Составные части среды человека
(по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Природная и квазиприродная среды создают лишь фон и фундамент, на

который накладывается весь комплекс антропогенных изменений. В одних случаях квазиприродная и артеприродная среды смягчают воздействие природной среды (улучшают микроклимат), в других — заменяют своими элементами природную среду (информативность архитектуры, воздействие кондиционеров и т. д.), в третьих, артеприродная среда оказывается резко ухудшенной, в первую очередь, по физико-химическим и информационным показателям (загрязнение всех видов, однообразие архитектуры и т. д.). Сравнение «природного оптимума» с факторами воздействия с квазиприродной и артеприродной средой дает возможность определить направления управляющего воздействия, направленного на оптимизацию этих «природ».

Социальная среда — культурно-психологический климат, намеренно и/или непреднамеренно, сознательно и/или бессознательно создаваемый для личности, социальных групп и человечества в целом самими людьми и слагающийся из влияния людей как социально-биологических существ друг на друга в коллективах непосредственно и с помощью изобретенных ими средств материального, энергетического и информационного воздействия.

Социальная среда интегрируется с природной, квазиприродной и артеприродной средами в общую совокупность окружающей человека среды. Все факторы каждой из рассматриваемых сред взаимосвязаны между собой и определяют *качество среды жизни*, субъективные и объективные ее стороны.

19.2. Потребности человека

Потребности человека вытекают из его биосоциальной структуры. Ученые (Н.Ф. Реймерс, 1994 и др.) считают, человек не сводим ни к биологическому, ни к социальному. Индивидуум (личность), группа, коллектив и другие объединения дают в целом многоуровневую иерархическую систему. Отсюда делается вывод, что модели (матрицы) человека и общества трехмерны — качественно-индивидуальное, функциональное и иерархическое разнообразие, и имеют два вектора развития: индивидуально-возрастной и исторический.

Рассматривая человека и человечество в целом как системное образование, Н.Ф.Реймерс отмечает следующее.

— Как представитель своего вида человек имеет ряд генетических и фенотипических анатомо-физиологических особенностей адаптивного характера, что определяет степень воздействия природной среды на его организм, например, механически нельзя «поменять местами» негров и эскимосов как популяции.

— Эколого-поведенчески человек специфичен как в малых объединениях, так и в больших. Так, в семье легко определять экономического главу по максимально получаемому доходу. Психологически же глава семьи может не совпадать с экономическим. Для более значительных групп тип южанина и тип северянина достаточно известны.

— Желательный и практически осуществляемый характер труда человека со всеми его нюансами отличается от чисто экономических его характеристик и резко различен в пределах всех других особенностей «человеческого целого».

—Историко-эволюционно складывается этническая специфика человека (скандинавский этнос четко отличается от германского или британского, не говоря уже о монгольском).

— Социальные совокупности отличаются друг от друга (интеллигент, рабочий, крестьянин).

— Экономические устремления людей различны в зависимости от их принадлежности к той или иной социальной группировке, но тем не менее по своей сущности не совпадающие с нею (производственная и социальная характеристики человека различны, степень экономической обеспеченности полностью не совпадают с социальным статусом и т. д.).

—Цели одного иерархического уровня организации антропо-системы могут не совпадать с целями другого иерархического уровня, т. е. имеются определенные противоречия между, к примеру, индивидуальными социальными потребителями и потребителями семьи, а тем более крупных объединений.

На основании перечисленных фактов можно создать модель человека, состоящую из шести тесно взаимосвязанных подсистем (рис. 19.2).

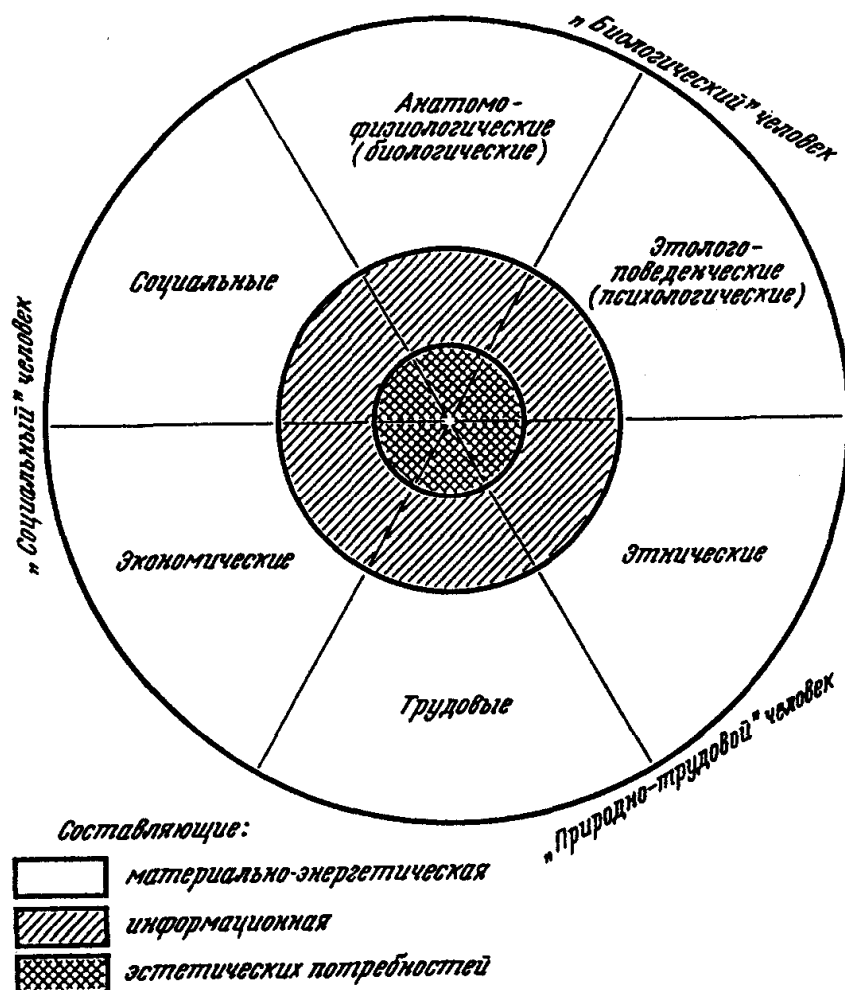


Рис. 19.2. Модель человека, состоящая из шести тесно взаимосвязанных подсистем (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

Безусловно, наиболее древней была анатомо-физиологическая структура,

дополнившаяся этолого-поведенческими характеристиками лишь на высших фазах эволюции дальних предков человека. В дальнейшем, уже у гоминид, возникла необходимость в труде, что изменило и анатомо-физиологическую, и этолого-поведенческую подсистему. Разнообразие форм труда и его приложений к различным природным объектам шло параллельно с формированием рас, хотя и не всегда связано с этим процессом, а нередко и независимо приводило к возникновению этнических группировок, по-разному образывавших системы взаимоотношений «человек—природа». Одновременно возникали первичные социальные устройства и механизмы и в то же время до определенного периода не формировавшие экономических подсистем. Экономические устремления, вероятно, возникли как механизм обеспечения всех других потребностей человека во все более усложнявшемся социальном мире.

Н. Ф. Реймерс (1994) на основе многолетних исследований подчеркивает, что многообразие человека и человечества, где уже на уровне отдельного человека мы имеем в каждой из подсистем неисчислимое разнообразие — двух генетически идентичных людей, как известно, нет, очевидно, нет и одинаковых личностей и т. д. В многогранной среде живет многоликий человек. Это относится и к групповым объединениям людей, где разнообразие увеличивается по мере повышения иерархического уровня, вплоть до уникального — человечества, представленного бесконечным разнообразием людей и их объединений. Нет одинаковых людей, но есть совокупности людей одинакового типа. Это позволяет выявлять закономерности и рассматривать человека и человечество как неисчерпаемую, но и сводимую к некоторому числу отдельных систем, которая поддается конкретному анализу.

Исследования проблемы потребностей человека достаточно обширны. Наиболее фундаментальным является разделение потребностей на *элементарные*, или базовые, и *вторичные*. К элементарным относятся потребности в вещах и условиях освоения, без которых личность погибнет (любые пища, одежда, жилище). К вторичным относятся потребности в конкретных вещах и условиях, возникающих при возможности выбора различных вещей для удовлетворения потребностей в материальных средствах жизни. Л. Я. Барановой (1984) выделены следующие группы и виды личных потребностей:

- по характеру и природе возникновения: физические или естественные, социальные и интеллектуальные;
- по сфере жизнедеятельности, в которой потребности проявляются и удовлетворяются: материальные и духовные;
- по экономической количественной определенности: абсолютные, действительные и платежеспособные;
- по степени конкретизации: общие и конкретные;
- по степени удовлетворения: удовлетворенные, неудовлетворенные и не полностью удовлетворенные;
- по степени настоятельности: насущные, менее настоятельные, отдаленные;
- по объектам: в материальных благах, услугах и духовных ценностях;
- по степени активности: активные и пассивные;

- по степени рациональности: рациональные и иррациональные;
- по степени реальности: реально осуществимые и нереальные;
- по степени перспективности: социально-перспективные и социально бесперспективные.

Исходя из того что человеческие потребности есть система, они должны составлять целое в рамках общества на данном историческом этапе развития. А в связи с тем что общество не состоит из двух уровней иерархии — личности и самого общества, а представляет собой значительно более сложное системно-иерархическое образование, его потребности количественно, а отчасти и качественно неоднородны, но вместе с тем для каждого уровня системно определены.

Верхний уровень большинства индивидуальных потребностей ограничен понятием здоровья. Нижний предел обеспечения потребностей также определяется критерием ухудшения здоровья и гибели индивида. Такое ухудшение здоровья может произойти от изменения любого из секторов индивидуальных потребностей. Н. Ф. Реймерс (1994) считает, что в существующих классификациях потребностей человека не все их критерии годятся для научной систематики явления, и предлагает следующую общую схему разделения потребностей человека (рис. 19.3).

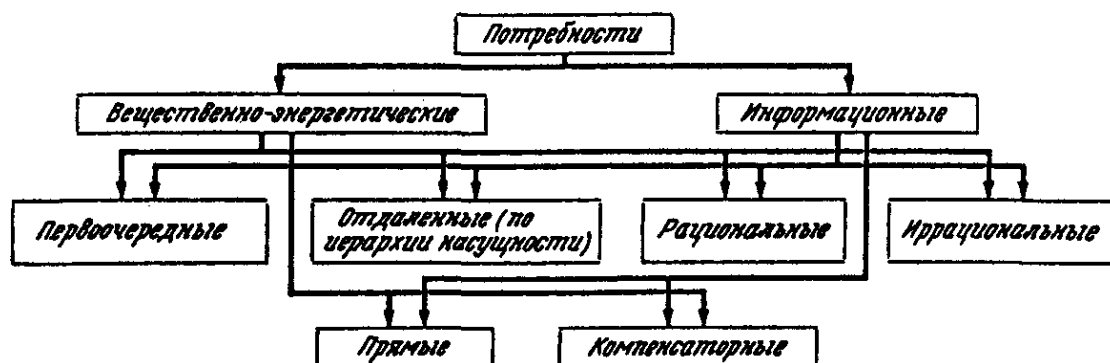


Рис. 19.3. Общая схема потребностей человека (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

В данной классификации сохранено только четыре качественно-количественных критерия внутреннего, а не внешнего для человека характера. При этом можно говорить, например, о прямых, первоочередных, рациональных, вещественно-энергетических потребностях и других аналогичных им группах как целом. Таким образом, предлагаемая классификация не разрывает, а объединяет группы потребностей человека.

Перечисленные группы потребностей человека неодинаково остры в преломлении к личным нуждам всех людей и, как уже отмечалось, находятся в теснейшей взаимосвязи между собой. Например, потребность в пище одновременно биологическая, этническая и экономическая, семья — биологическая, этологическая, социальная и экономическая потребность. Труд необходим биологически, этологически, этнически, социально, экономически и сам по себе, но везде как особое проявление.

Еще раз следует обратить внимание на то, что, как и в случае четырехединой (природной, квази-, арте- и социальной) среды, все потребности человека не заменяют друг друга. Они составляют интегрально-системную совокупность, не сводимую ни поэлементно внутри своей группы (например, в биологической группе сон не может заменить пищи, а вода — воздуха и т. д.), ни подсистемно (биологические потребности нельзя заменить социальными, этологические — трудовыми и т. д.).

Для подъема благосостояния людей необходима оптимизация всех подсистем и элементных блоков систем обеспечения потребностей людей с учетом системного целого — противоречивого и большего, чем сумма частных потребностей.

19.3. Понятие «здоровье человека»

По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), *здоровье человека* — это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезни или физических дефектов, как это до настоящего времени сравнительно широко было распространено в общественном сознании. Здоровье с философских позиций можно рассматривать в соотношениях категорий как качества, так и количества. С юридической точки здоровье может быть выражено в возможности реализовать право личности и общества на обладание и распоряжение им. С социально-экономических позиций «здоровье человека», «здоровье населения» рассматриваются как критерии физического и интеллектуального потенциала общества для создания материальных и духовных ценностей. Частное значение здоровья с точки зрения психофизиологии — это уровень физической и умственной работоспособности при осуществлении различных видов труда. Величина утраты здоровья, выражающаяся в показателях заболеваемости и инвалидности, отражает нарушения в структурах и функциях организма, изменения адаптивных возможностей.

Для оценки здоровья в медико-биологических исследованиях используют показатели физического развития. Функции организма оценивают по показателям умственной и физической работоспособности, а адаптационные резервы по показателям биохимического, гормонального и иммунного статусов. *Показатель болезненности* отражает распространенность заболеваний, которая определяется отношением числа заболеваний за год, умноженного на 1000 и отнесенного к средней численности населения. Данный показатель является собирательным обозначением отрицательных показателей здоровья, которые в санитарной статистике рассматриваются в качестве критериев состояния здоровья. Понятие «окружающей природной среды» нами подробно было рассмотрено ранее. Включает совокупность природных и антропогенных факторов. Антропогенные факторы, порожденные человеком и его хозяйственной деятельностью, зачастую оказывают негативные воздействия на человека, условия его жизни и состояние здоровья (табл. 19.1).

Таблица 19.1

**Тенденции изменений окружающей среды,
(по В. И. Данилову-Данильян и др., 1993 г)**

Характеристика	Тенденция 1972-1992 гг	Сценарий 2030 г.
Потребление первичной биологической продукции	Рост потребления: 40%— на суше, 25% — глобальное	Рост потребления: 80—85% — на суше, 50—60%—
Изменение концентрации парниковых газов в атмосфере	Прирост концентрации парниковых газов до единиц процентов ежегодно	Рост концентрации, ускорение роста концентрации CO ² и СИ, за счет ускорения разрывания
Истощение озонового слоя, рост озоновой дыры в Антарктиде	Истощение озонового слоя на 1—2% ежегодно; ежегодный рост площади озоновой дыры	Сохранение тенденции даже при прекращении выброса хлорфторуглеводородов к 2000 г.
Сокращение площади лесов, особенно тропических	Сокращение со скоростью от 117 тыс. км ² в год (1980 г.) до 180 тыс. км ² (1989 г.)	Сохранение тенденций, сокращение площади лесов в тропиках с 18 (1990 г.) до 9—11 млн км ² (2030 г.), сокращение площади лесов умеренного пояса
Опустынивание	Расширение площади пустынь (60 тыс. км ² в год), рост опустошения земель	Сохранение тенденции, возможен рост темпов за счет уменьшения влагооборота на суше и накопления пыли-тантов в
Деградация земель. Качественное истощение вод суши	Рост эрозии, снижение плодородия, накопление загрязнителей, закисление, засоление. Рост объемов сточных вод, точечных и площадных источников загрязнения, числа поллютантов и их концентрации	Сохранение тенденции, рост эрозии и загрязнение, сокращение сельскохозяйственных земель на душу населения. Сохранение и нарастание тенденции
Исчезновение видов организмов	Быстрое исчезновение видов	Усиление тенденции по мере разрушения биосферы
Ухудшение условий проживания людей, рост генетических заболеваний и заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, появление новых болезней	Рост бедности, нехватка продовольствия, высокая детская смертность, высокий уровень заболеваемости, необеспеченность чистой питьевой водой в развивающихся странах, проживание в зонах высокого загрязнения, рост генетических заболеваний, рост потребления лекарств, рост аллергических заболеваний в развитых странах, пандемия СПИДа в мире, понижение иммунного статуса	Сохранение тенденций, увеличение нехватки продовольствия, рост генетических заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, расширение территории инфекционных заболеваний, появление новых болезней

На конференции ООН в 1972 г. в Стокгольме была принята декларация, в которой говорится, что человек одновременно является продуктом и творцом своей среды, дающей ему физическую основу для жизни и возможность интеллектуального, морального, общественного и духовного развития. Таким

образом, для человеческого благосостояния и осуществления основных прав людей, в том числе права на жизнь, важное значение имеют два аспекта — природная среда и та, которую создал человек. В этом секторе условий жизни в конце XX в. сконцентрированы наиболее опасные для человека тенденции, так как истощение природных ресурсов и загрязнение природной среды происходят быстрее, чем люди успевают заменять их искусственными условиями. Наибольшую остроту эти тенденции приобрели в крупных промышленных регионах, городах.

На рис. 19.4 по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) хорошо просматривается, с какой неотвратимостью сходятся к зданию и к машине с красным крестом потоки вещества, энергии и информации, которые человек своей деятельностью наращивает в окружающей среде и пропускает через себя.

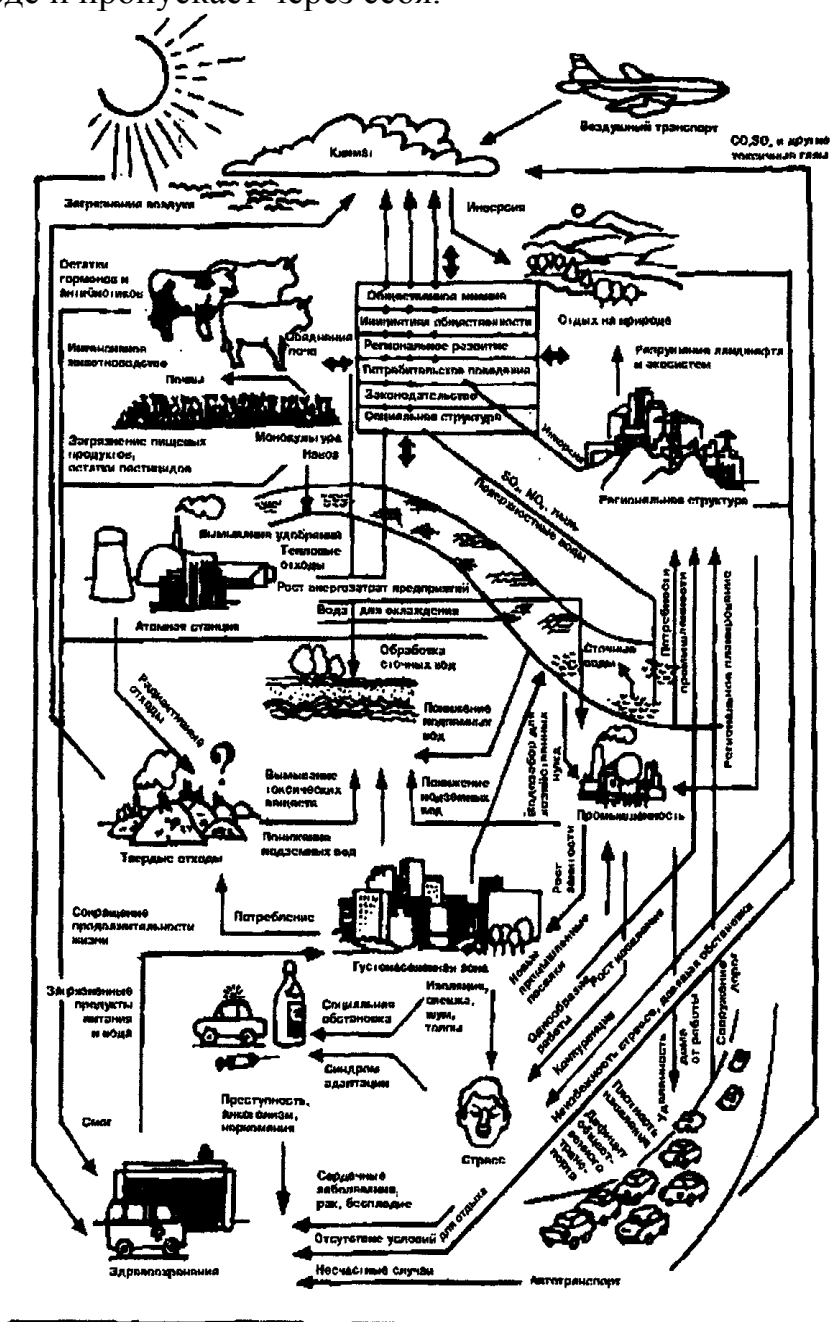


Рис. 19.4. Взаимосвязи факторов среды, образующих комплекс стрессовых воздействий на человека (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Существенным слагаемым этих влияний оказываются социальный стресс, психологическое напряжение, охватившее массы людей, обусловленное ускорением темпа жизни и социальных перемен.

19.4. Влияние состояния окружающей среды на здоровье людей

Многие годы не существовало общепринятого представления о количественной связи между загрязнением окружающей среды и состоянием здоровья населения.

В 70-х гг. XX в., по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), состояние смешанных контингентов людей в разных странах в среднем на 50—60% зависело от экономической обеспеченности и образа жизни, на 18—20% — от состояния окружающей среды и на 20—30% — от уровня медицинского обслуживания. Л. Г. Мельник и Н. С. Владимирова (1991) на основании обработки статистического материала о потерях рабочего времени по болезни делают выводы, что «загрязнение воздуха на 43—45% повинно в ухудшении здоровья населения» (рис. 19.5 и 19.6).

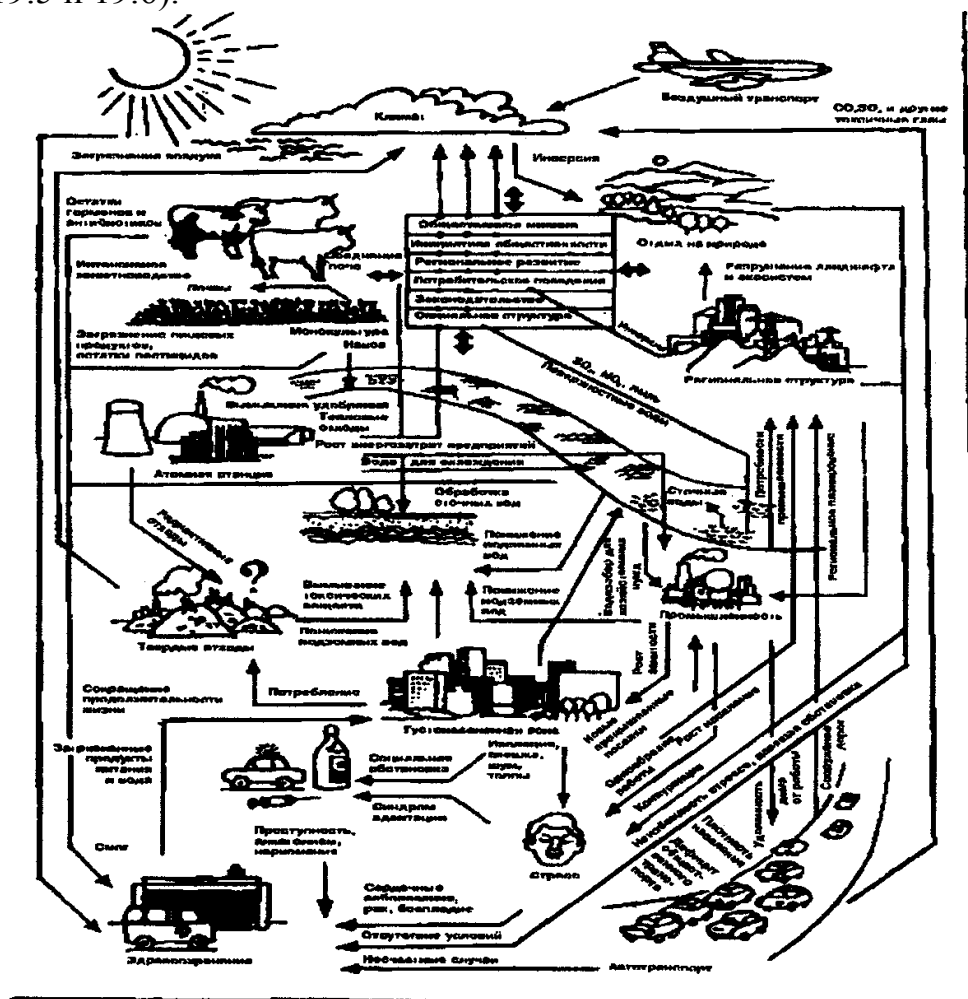


Рис. 19.5. Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями

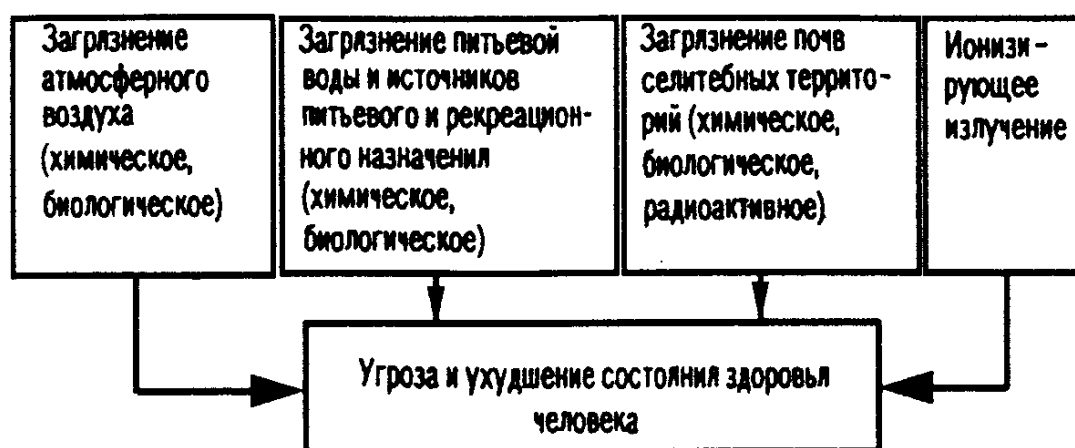


Рис. 19.6. Изменение среды обитания и состояния здоровья человека

Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994) считают, что следует различать акценты, которые относятся к *загрязнению среды*, когда имеются в виду воздействия, опосредованные воздухом, водой, пищей, физическими факторами, и акценты, которые относятся к *качеству среды*, или *состоянию среды*, в достаточно широком понимании. Современной гигиенической наукой установлено, что загрязнение окружающей среды повышает уровень заболеваемости населения в среднем на 20%. Например, частота болезней крови и кроветворных органов в Российской Федерации находится на высоком уровне, соответствующем районам мира с высоким развитием индустрии. На экологическое неблагополучие особенно остро реагирует детский организм. Увеличивается число «экогенных» состояний, отмечается рост числа хронических болезней детского возраста (аллергических, бронхолегочных, сердечно-сосудистой системы, болезней почек, крови и т. д.), рис. 19.7.

В России, по данным НИИ человека и гигиены окружающей среды имени А. Н. Сысина РАМН, только 15% горожан проживают на территориях с допустимым уровнем загрязнения атмосферы. Наряду с другими факторами это приводит к дефициту кислородного обеспечения организма, в первую очередь детского, что сказывается на нормальной деятельности всех его систем, особенно иммунной, которая определяет в основном уровень как острой, так и хронической заболеваемости. Загрязнением атмосферы обусловлено около 20—30% общих заболеваний населения промышленных центров. На состоянии здоровья населения отражается неблагоприятное влияние на окружающую среду предприятий основных отраслей промышленности. В центрах черной металлургии (гг. Магнитогорск, Липецк, Нижний Тагил, Новокузнецк и др.) общая заболеваемость как детского, так и взрослого населения почти на 40% выше, чем в относительно «чистых» городах. Взрослые в 1,5 раза чаще страдают болезнями органов кровообращения, в 1,7 раза — органов пищеварения. Дети в 1,2—1,4 раза чаще страдают болезнями органов дыхания, пищеварения, а также болезнями кожи и слизистых оболочек глаз.

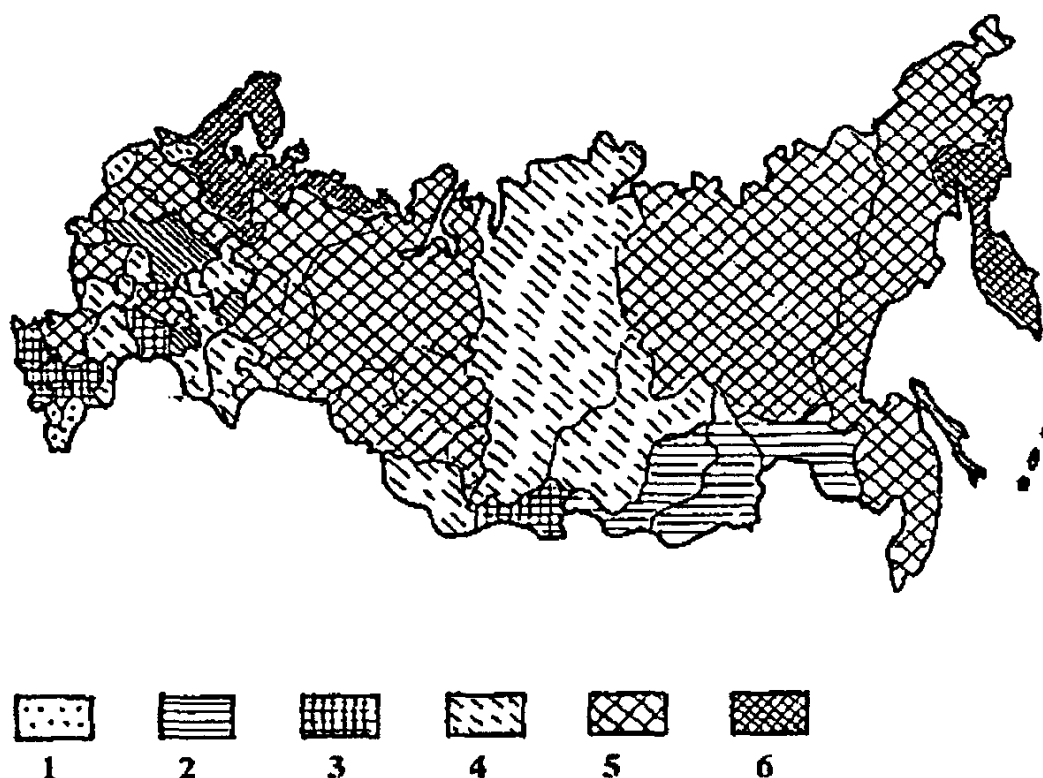


Рис. 19.7. Среднетерриториальное распределение общей заболеваемости детей в Российской Федерации в 1991 г. (из государственного доклада «О состоянии здоровья населения Российской Федерации в 1991 году»)

Число случаев на 1000 детей: 1 — от 828 до 982; 2 — от 983 до 1137; 3 — от 1138 до 1292; 4 — от 1293 до 1447; 5 — от 1448 до 1602; 6 — более 1603

Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994) указывают, что при распределении крупных городов России по общему индексу техногенной загрязненности атмосферы выявились частные особенности, которые связаны с характером загрязнения и общим этиопатологическим фоном (табл. 19.2). Так, в г. Перми (14-е место по загрязненности) у детей до 5 лет частота заболеваний крови в 3,5 раза выше, чем в среднем по городам; в г. Березники (19-е место) заболеваемость по респираторным и гемопатологиям в 8 раз выше средней, в г. Стерлитамаке, где систематически регистрировались 10-кратные превышения ПДК по ртути, заболевания гипертонией у взрослых людей в 2,6 раза выше средней по городам. В г. Подольске сумма вредных выбросов в атмосферу составляет более 65 тыс. т/год, а аккумуляторный завод рафинирует свинца на 25 тыс. т больше, чем могут обработать его очистные системы, распространенность легочных заболеваний у взрослых в 2 раза чаще. Исследования содержания свинца в волосах жителей и в эмали молочных зубов у детей, которые живут в районе медеплавильного комбината, показали, что в зонах максимального загрязнения в 64% случаев был превышен допустимый, а в 14% случаев — критический уровень содержания. Превышение уровней содержания свинца около свинцово-кадмиевого комбината было почти двухкратным. Здесь зарегистрирована повышенная частота заболеваний нервной системы, характерных

для воздействия свинца.

Таблица 19.2
**Динамика заболеваемости населения в городах России с
повышенным загрязнением воздуха в 1987—1989 гг.,
число случаев на 100 тыс. человек**

Город	Заболевание	1987	1988	1989
Архангельск	Злокачественные новообразования	244	278	414
	Болезни кожи	398	434	448
	Болезни органов дыхания	56291	71725	60714
Нижний Новгород	Злокачественные новообразования	258 2270	360 2248	405
	Болезни кожи	48847	63063	2081
	Болезни органов дыхания			54955
Березники	Злокачественные новообразования	258 2118	360	327
	Болезни кожи	56555		2261
	Болезни органов дыхания		2116	74006
Красноярск	Злокачественные новообразования	-	260	421 757
	Болезни кожи		797	58135
	Болезни органов дыхания		60356	
Свердловск	Злокачественные новообразования	311	234	502
	Болезни кожи	1595	2023	1924
	Болезни органов дыхания	24862	29796	35418
Усолье-Сибирское	Злокачественные новообразования	226	157	246
	Болезни кожи	2662	2801	2361
	Болезни органов дыхания	29920	49583	44099

Проживание в городах с предприятиями нефтехимии и органического синтеза (Стерлитамак, Уфа, Чайковский и др.) ведет к увеличению заболеваемости, преимущественно детей, бронхиальной астмой (в 2—3 раза), и аллергическими поражениями кожи и слизистых оболочек (в 1,5—2,0 раза). В городах Светлоярск, Мантурово, Шебекино с пуском предприятий биотехнологии уровень общей заболеваемости населения увеличился в 1,6—3,0 раза, а аллергической—в 1,5—12,0 раза.

На состояние здоровья населения большое влияние оказывает качество питьевой воды. В Амурской, Курганской, Кемеровской, Новгородской областях и Мордовской республике установлено прямое влияние химического загрязнения на возникновение заболеваний центральной нервной системы, нефритов, гепатитов, токсикозов беременности, увеличение мертворождаемости и врожденных аномалий. Бактериальное и вирусное загрязнение рек России (бассейны рек Волги, Оки, Камы, Дона, Кубани, Оби и др.), в десятки и сотни раз превышающее допустимые величины, создает на соответствующих территориях постоянную опасность эпидемических вспышек острых кишечных инфекций.

Одной из причин неблагополучия с питьевой водой является недостаточная гигиеническая эффективность систем водоподготовки. В 1991 г. 23,7% проб питьевой воды не отвечали требованиям ГОСТа по химическим и 12,2% по бактериологическим показателям.

Нарушение регламентов хранения и применения пестицидов, минеральных

удобрений приводит к загрязнению почв и сельхозпродукции остаточными количествами химических веществ и продуктами их деструкции. Особенно неблагоприятная ситуация в 90-х гг. XX в. сложилась в Среднем Поволжье, Приморском крае, в Центральном Черноземном районе России. Превышение допустимого уровня содержания хлорорганических пестицидов в почве в 3 раза сказывается на более высокой, по сравнению с другими территориями страны, заболеваемости детей в возрасте до года. В сельской местности с максимальными пестицидными нагрузками уровень заболеваемости детей анемией и туберкулезом значительно выше, чем в контрольных районах.

На территориях, подверженных радиоактивному загрязнению, состояние здоровья населения требует долгосрочного углубленного изучения (рис. 19.8). В последние годы резко обострилась проблема борьбы с эндокринными заболеваниями в районах, пострадавших аварий на Чернобыльской АЭС, которые достигают 70% патологии населения.

Среди подверженных радиационному воздействию жителей Южно-Уральского региона у 935 человек диагностирована хроническая лучевая болезнь, на 41% увеличилась заболеваемость лейкозами среди 17 тыс. человек, наблюдаемых с 1950 г., зарегистрирован рост общей смертности 17—24%. В Сибири, на Дальнем Востоке и Крайнем Севере нарастание экологических проблем усугубляет влияние на человеческий организм неблагоприятных субэкстремальных и экстремальных климато-географических факторов (низких температур, электромагнитных полей солнечного и космического происхождения). На жителей городов Норильска, Братска, Новокузнецка, Ангарска приходится наибольшая нагрузка по валовым выбросам вредных веществ. Замедленная самоочищаемость северных рек на фоне антропогенного загрязнения способствует возникновению кишечных инфекций. Оценка современного состояния и тенденций изменения здоровья населения России позволяет сделать вывод, что экологические проблемы повсеместно сказываются на изменении процессов возрастной динамики, появлении сдвигов в клинике и характере заболеваний, длительности течения и разрушения патологических процессов, т. е. изменения среды самым непосредственным образом затрагивают биологию человека.

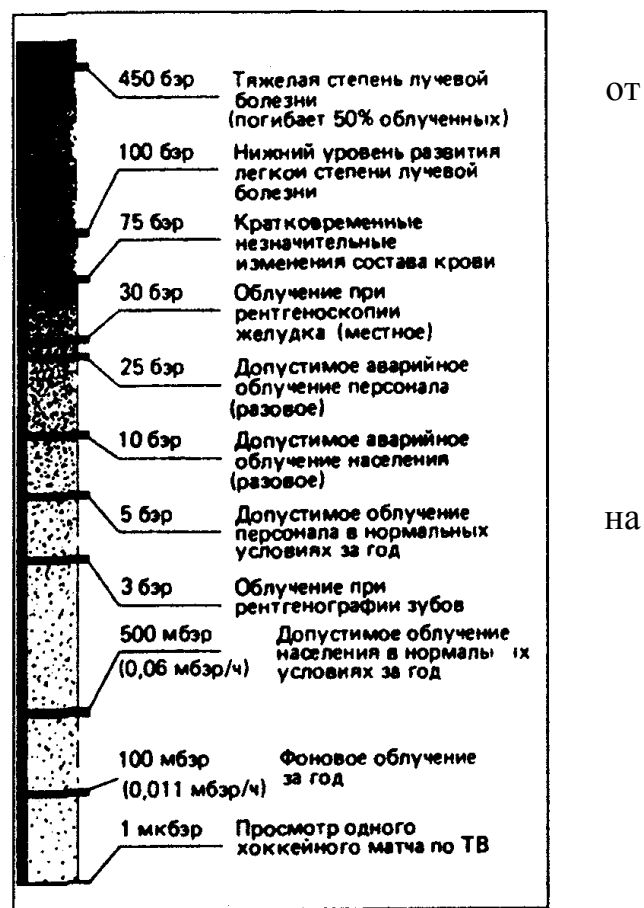


Рис. 19.8. Шкала степени облучения человека

В середине 90-х гг. XX в. население России насчитывало около 148 млн человек. По прогнозу, составленному Госкомстатом России совместно с Центром экономической конъюнктуры при правительстве Российской Федерации, в течение ближайших 10 лет численность населения страны может сократиться на 16,5 млн человек, или на 11,2%. В 1993 г. в России был зарегистрирован один из самых низких в мире показатель рождаемости — 9,2 младенца на 1000 человек, в то время как в 1987 г. он составлял 17,2 (рис. 19.9).

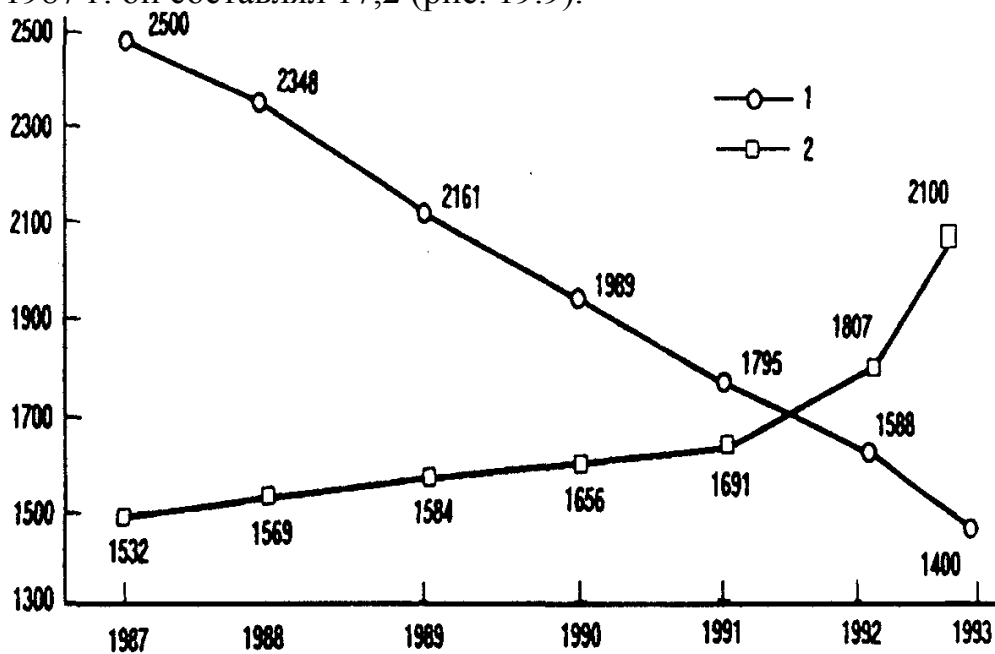


Рис. 19.9. Естественное движение населения в Российской Федерации:
1 - число родившихся; 2 - число умерших

В России уровень младенческой смертности в 25,5 раза выше, чем в Швеции, в 6,4 раза, чем в США, в 5,5 раза, чем в Японии. Смертность детей в возрасте от года до четырех лет выше в 4—5 раз по сравнению с развитыми странами. Показатель ожидаемой продолжительности жизни заметно уменьшился, достигнув в 1992 г. уровня 68,8 года. В начале 70-х гг. XX в. продолжительность жизни россиян была примерно на два года ниже, чем в развитых странах Европы, Северной Америки, Австралии и Японии, а в настоящее время эта разница составляет 5—10 лет. Сокращение численности населения объясняется прежде всего ростом смертности из-за увеличения числа профессиональных и общих заболеваний (табл. 19.3).

Таблица 19.3

**Коэффициенты смертности по причинам смерти
(число умерших на 100 тыс. человек) за 1990—1994 гг.**

Причины смерти	1990	1991	1992	1993	1994 (оценка)
----------------	------	------	------	------	------------------

Инфекционные и паразитарные болезни	12,1	12	13,1	17,3	20
Злокачественные новообразования	191,8	195,5	199,7	204,6	209
Болезни системы кровообращения	617,4	620	646	768,9	827
Болезни органов дыхания	59,3	55,7	57,9	74,5	85
Болезни органов пищеварения	28,7	28,9	32,8	38,2	44
Несчастные случаи, отравления, травмы	133,7	142,2	173	227,9	260
Прочие причины	77	85,	97	11	13
		7	,5	8,5	5

Данные об изменениях в демографических показателях под влиянием профессиональных и общих заболеваний в наиболее общем, интегральном виде дают представление о состоянии здоровья населения России, на формирование которого непосредственное влияние оказывает состояние окружающей среды.

19.5. Экологический риск

Большое принципиальное значение критических ситуаций, связанных с угрозой безопасности, здоровью, жизни людей со стороны факторов среды, считают Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994), имеет оценка вероятности поражения — риск. Для поиска баланса между стратегиями экологического и экономического развития концепция социально-приемлемого риска получила широкое распространение в индустриально развитых странах. С помощью этой концепции можно получить ответ на ключевой вопрос — какой уровень риска гарантирует экологическую безопасность. С одной стороны, население города вынуждено мириться с тем или иным уровнем загрязнения окружающей среды и другими отрицательными средовыми влияниями, достаточное количество и разнообразие рабочих мест и решать задачи социального развития за счет городского бюджета.

С другой стороны, здоровая окружающая среда является средством удовлетворения основных жизненных потребностей человека. Поэтому любые цели экономического развития должны согласовываться с принципом экологической безопасности. Принимаемый уровень экологического риска зависит от того, какие выгоды получает население при увеличении риска за счет повышения уровня социально-экономического благополучия и какие издержки необходимы, чтобы уровень экологического риска не превышал уровень социально-приемлемого риска.

Экологический риск не единственный, а нередко для отдельных территорий не главный вид риска для жизни, здоровья и благосостояния людей. Отсюда он должен быть соразмерен с другими видами социального риска. Существует большая информация об уровнях риска преждевременной смерти от различных причин, основанная на самых разных статистических данных. Так, на рис. 19.10 показаны вредные воздействия на человека в закрытых помещениях в 70-е гг. XX в. в странах Западной Европы.

По данным отечественной статистики, абсолютные значения среднего риска представлены в табл. 19.4.

Средний риск смертности от заболеваний здесь принят как условный критерий максимального приемлемого риска. В целом же следует обратить

внимание, что в нашей стране гибель людей от всех причин несчастных случаев значительно выше. В Российской Федерации в 1990 г. от всех форм травм и отравлений погибло 197 тыс. человек. Считается, что химическое загрязнение биосферы в конце XX в. более значительно и опасно, чем радиационное. В связи с этим проблемы приемлемого риска и управления риском являются чрезвычайно острыми.

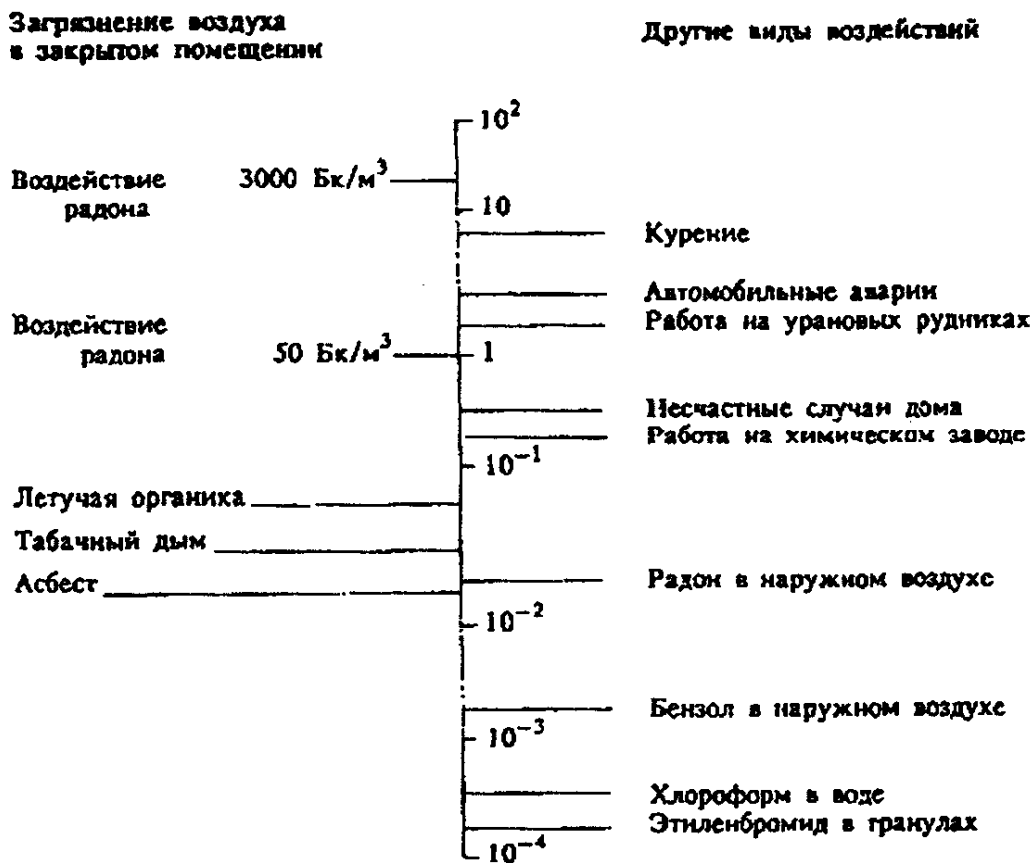


Рис. 19.10. Вероятность преждевременной смерти
(по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Таблица 19.4
Риск смерти от различных причин (1 чел./год)

Причины смерти	Ср.
----------------	-----

Все виды заболеваний	10^{-2}
Облучение персонала АЭС после радиационной аварии	10^{-2}
Все виды злокачественных новообразований	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Автомобильные аварии	10^{-3}
Острый инфаркт миокарда у мужчин	$4 \cdot 10^{-4}$
Травмы в промышленном производстве	$2 \cdot 10^{-4}$
Заболевание раком после облучения 1 бэр	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Облучение окружающего населения после радиационной аварии на АЭС	10^{-4}
Непрофессиональные занятия спортом	10^{-4}
Заболевание лейкозом	10^{-5}
Естественные катастрофы	10^{-5}
Неаварийные искусственные источники радиации	$5 \cdot 10^{-6}$

Научное исследование, в котором факты и научный прогноз используются для оценки потенциального вредного воздействия на окружающую среду различных загрязняющих веществ и влияний, называют *оценкой экологического риска*, а *управление экологическим риском* — это процесс принятия решений, в котором учитывается оценка экологического риска, а также технологические и экономические возможности его предупреждения (рис. 19.11).

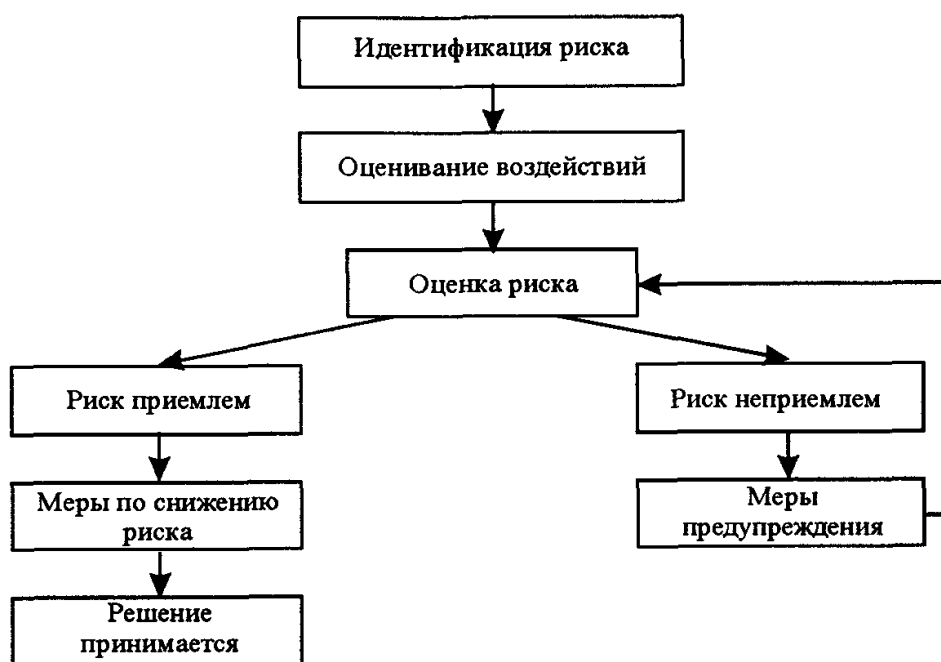


Рис. 19.11. Схема управления риском
(по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994)

Управление риском требует наличия информационной системы, которая позволяла бы быстро осуществлять обработку исходных данных о предполагаемых направлениях хозяйственной деятельности и ее возможных экологических последствиях.

Таким образом, приходят к заключению Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994), преобразуя природу, люди создали для себя, своих семей более благоприятную среду обитания. Однако до сего времени нет уверенности, что она стала лучшей средой для человечества в целом.

Во-первых, человеческая цивилизация создана не столько благодаря, сколько в ущерб окружающей природе. Во-вторых, в стремлении к независимости от природных стихий и к удовлетворению разнообразных потребностей люди наполнили свою среду множеством чуждых природе веществ и вещей, вредных для здоровья. Повышение мощности и концентрации техногенеза вместе с быстрым ростом населения привели к учащению и усилению

поражающего действия техногенных катастроф, к появлению региональных экологических кризисов и зон экологического бездействия. Человек по собственной вине вынужден жить с постоянно возрастающим риском для жизни. Определение приемлемого экологического риска становится важнейшим фактором взаимоотношения человека с созданной им средой.

20. ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

20.1. Законы взаимоотношений человек—природа

Ход исторических связей между природой и человеком по Н.Ф. Реймерсу (1994) приводит к одновременным переменам в природе и в формах хозяйства. Формы хозяйства, меняясь вследствие затруднений, происходящих от перемен в природе, в свою очередь, вызывают цепные реакции в природе. Постоянная обратная связь получила название *закона обратной связи взаимодействия человек—биосфера П. Дансеро (1957) или закона бумеранга, иначе — четвертого закона Б. Коммонера (1974): «ничто не дается даром»*. Глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть выиграно или потеряно и которое не может являться объектом всеобщего улучшения: все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возвращено. Платежа по этому векселю нельзя избежать. Он может быть только отсрочен. Необходимость платежей подчеркивается и *законом незаменимости биосферы*. Его формулировали многие исследователи, такие, как В. И. Вернадский, Д. П. Марше, Э. Рек-лю и др. Например, В. Г. Горшков (1990) данный закон формулирует следующим образом: «Нет никаких оснований для надежд на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды с той же степенью точности, что и естественные сообщества. Сокращение естественной биоты в объеме, превышающем пороговое значение, лишает устойчивости окружающую среду, которая не может быть восстановлена за счет создания очистных сооружений и

перехода к безотходному производству... Биосфера... представляет собой единственную систему, обеспечивающую устойчивость среды обитания при любых возникающих возмущениях... Необходимо сохранять естественную природу на большей части поверхности Земли».

Незаменимая биосфера до определенного времени работала в рамках принципа Ле Шателье-Брауна (разд. 12.11), что для этой фазы эволюции сформулировано в виде *закона обратимости биосферы П. Дансеро (1957)*: биосфера стремится к восстановлению экологического равновесия тем сильнее, чем больше давление на нее. Это стремление продолжается до достижения экосистемами климаксовых фаз развития. В то же время П. Дансеро (1957) сформулировал *закон необратимости взаимодействия человек—биосфера*: возобновимые природные ресурсы делаются невозобновимыми в случае глубокого изменения среды, значительной переэксплуатации, доходящей до поголовного уничтожения или крайнего истощения, а отсюда превышения возможностей их восстановления. Такова, например, фаза развития системы взаимоотношений человек—природа в наши дни. Современная цивилизация и культура не обеспечивают стабильных условий существования на Земле ни жизни, ни человека как ее части. Это заключение находит отражение в *правиле меры преобразования природных систем*: в ходе эксплуатации природных систем нельзя переходить некоторые пределы, позволяющие им сохранять свойство самоподдержания (самоорганизации и саморегуляции). Так как свойство и саморегуляция природных систем поддерживается двумя механизмами — соотношением экологических компонентов внутри системы и взаимодействием пространственно выраженных подсистем, относящихся к системам того же уровня, то данное правило справедливо для обоих этих механизмов.

Таким образом, из правила меры преобразования природных систем можно прийти к следующим выводам:

1. Единица (возобновимого) ресурса может быть получена лишь в некоторый, определяемый скоростью функционирования системы (и их иерархии), отрезок времени. В течение этого отрезка нельзя переходить рубежи ограничений, диктуемых всеми теориями экологии.

2. Перешагнуть через фазу последовательного развития природной системы с участием живого, как правило, невозможно.

3. Рациональное проведение хозяйственных мероприятий лишь в рамках некоторых оптимальных размеров, выход за которые в меньшую и большую стороны, снижает их хозяйственную эффективность.

4. Преобразовательная деятельность не должна выводить природные системы из состояния равновесия путем избытка какого-то из средообразующих компонентов. Если это необходимо, то требуется достаточная компенсация в виде относительно непреобразованных природных систем.

5. Преобразование природы дает локальный или региональный выигрыш за счет ухудшения каких-то показателей в смежных мест-ностях или в биосфере в целом.

6. Хозяйственное воздействие затрагивает не только ту систему, на которую

оно направлено, но и ее надсистемы, которые в соответствии с принципом Ле Шателье-Брауна «стремятся» нивелировать производимые изменения. В связи с этим расходы на преобразование природы никогда не ограничиваются лишь затратами на непосредственно планируемые воздействия.

7. Природные цепные реакции никогда не ограничиваются изменениями вещества и энергии, но затрагивают динамические качества систем природы.

8. Вторичное постепенно сложившееся экологическое равновесие как правило, устойчивее, чем первичное, но потенциальный «запас преобразований» при этом сокращается.

9. Несоответствие «целей» естественно-системной регуляции в природе и целей хозяйства может приводить к деструкции природного образования, т.е. силы природы и хозяйственных преобразований в ходе противоборства сначала «гасят» друг друга, а затем природная составляющая начинает разрушаться.

10. Технические системы воздействия в длительном интервале времени всегда менее хозяйственно эффективны, чем направляемые естественные.

Антропогенные преобразования природных систем имеют достаточно четкие ограничения. Здесь выявляются и некоторые более частные закономерности, например, нашедшие отражение в *законе убывающей отдачи А. Тюрго— Т. Мальтуса*: повышение удельного вложения энергии в агросистему не дает адекватного пропорционального увеличения ее продуктивности (урожайности). Данный закон стал старой азбучной истиной сельскохозяйственной экологии.

Обратные связи, которые были изложены выше в законе бумеранга и правиле меры преобразования природных систем, дают подоснову *закона, или правила, демографического насыщения*: в глобальной или регионально изолированной совокупности количество народонаселения всегда соответствует максимальной возможности поддержания его жизнедеятельности, включая все аспекты сложившихся потребностей человека. Вместе с тем человечество создает давление на среду не столько биологически, сколько техногенно. С другой стороны, фактически в конце XX в. наблюдалось не демографическое насыщение, а с учетом всех потребностей человека, чрезвычайное перенасыщение. Несоблюдение правила демографического насыщения дает резкий дисбаланс в системе взаимоотношений человек—природа. К этому сдвигу равновесия может *добавить* и воздействие группы биоэкологических факторов, которые зависят от плотности видового населения. Не исключается ситуация, когда об ограничивающих механизмах реализуются одновременно, и произойдет демографическая катастрофа.

Для первобытных людей территория Земли была неисчерпаемым ресурсом. Однако сегодня, когда продолжается рост населения, а планета имеет ограниченные размеры, становится очевидным, что на Земле не может быть ничего бесконечного, так как часть не может быть больше целого, а отсюда для человека нет неисчерпаемых природных ресурсов. Растущая часть — человечество со все возрастающими потребностями может легко исчерпать ресурсы любой емкости. Территория планеты для современного человечества становится исчезающе малой при всей ее огромной величине. Ресурсы, которые считались неисчерпаемыми (поток солнечной энергии и другие мощные природные явления) по сравнению с

энергопотреблением человечества, оказываются резко ограниченными из-за лимитов востребования. Приходится признать действие закона *ограниченности (исчерпаемости) природных ресурсов*: все природные ресурсы и естественные условия Земли конечны. Ограниченность природных ресурсов оказывает воздействие на производительные силы общества, а через них на социальные отношения. Наблюдается *соответствие между развитием производительных сил и природно-ресурсным потенциалом общественного прогресса*.

Экологические кризисы и революции происходили многократно (см. рис. 13.20, 13.21 и 20.1).

Древнейшим экологическим кризисом являлся кризис перепромысла крупных животных-консументов. Кризис продуцентов был эпохой перепромысла растительного материала. Современный экологический кризис оказался кризисом редуцентов, которые не могут разложить загрязнители, производимые человечеством, в первую очередь тех, которые не имеют природных аналогов, а следовательно, и организмов для их утилизации и превращения в исходные химические элементы.

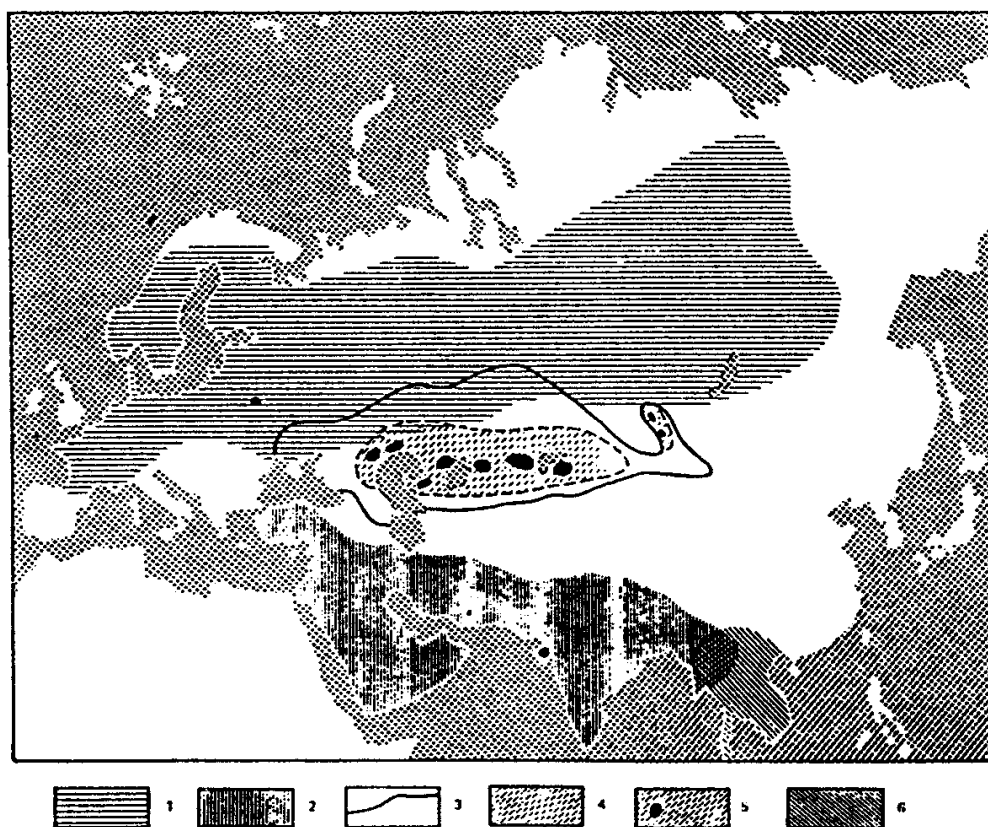


Рис. 20.1. Уничтожение гигантских представителей

млекопитающих Евразии в доисторическое время (по Ф. Рамаду, 1981):

1 — европейский бизон; 2 — азиатский лев (древний ареал); 3, 4, 5 — сайгак (3 — древний ареал, 4 — современный, 5 — места существования еще в 1920 г.); 6 — яванский носорог (древний ареал)

Существует и действует *правило интегрального ресурса*: конкурирующие в сфере использования конкретных природных систем отрасли хозяйства неминуемо

наносит ущерб друг другу тем сильнее, чем значительнее они изменяют совместно эксплуатируемый экологический компонент или всю экологическую систему в целом (рис. 20.2).

Конкурентное использование ресурсов затрагивает как отдельные компоненты, так и все стороны природных систем. В основном эта конкуренция носит натуральный и локально-экономический характер. Мирового «экологического» рынка или рынка природных ресурсов все еще нет, что в условиях глобальности воздействий человечества на природу нельзя считать нормальным. В силу закона падения природно-ресурсного потенциала такой рынок, несомненно, сформируется, что уже и происходит. При приближении природно-ресурсного потенциала к общественно неприемлемому уровню сменится технология и изменится общественная реакция или окончательно сформируется новая общественно-экономическая формация.

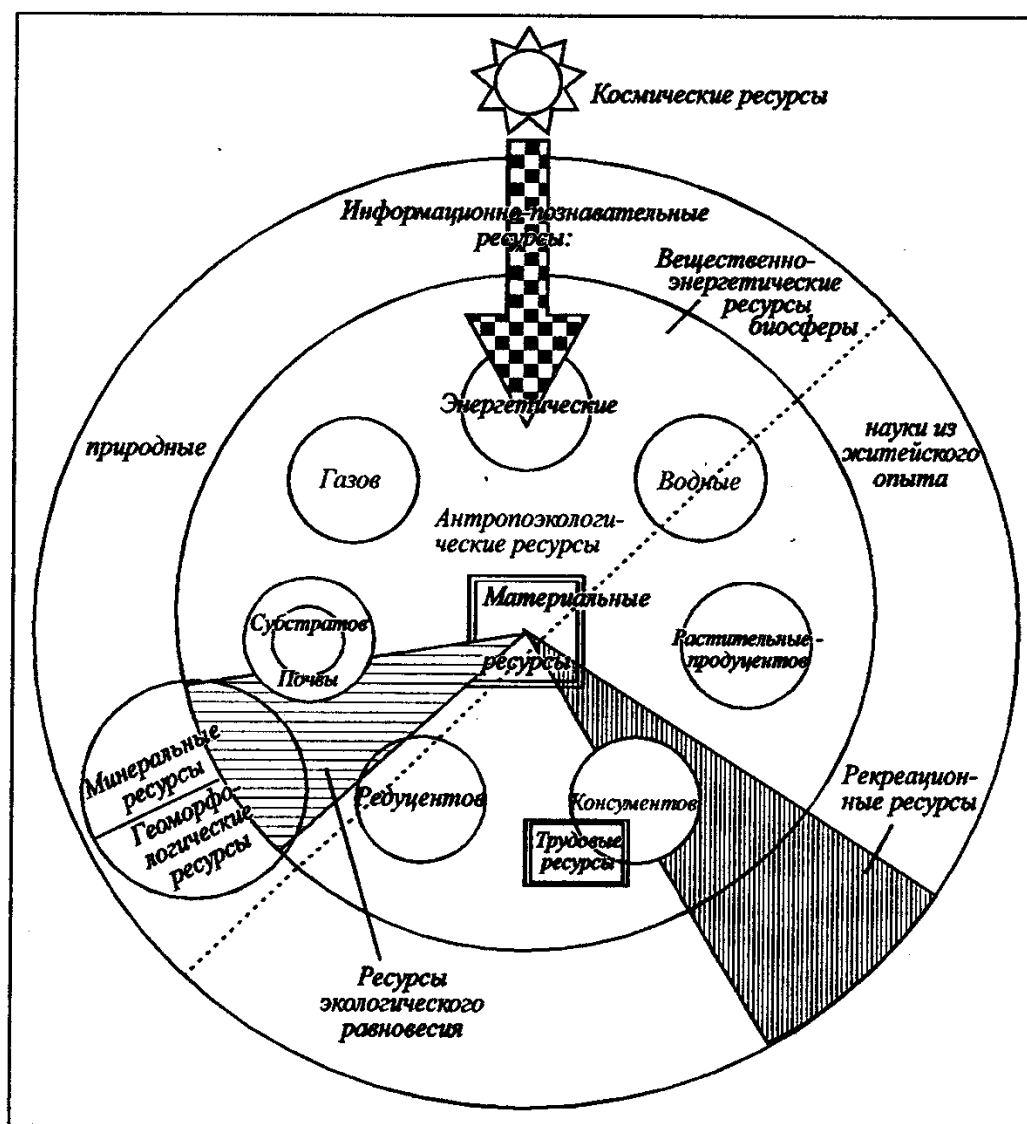


Рис. 20.2. Схема интегрального ресурса (по Н. Ф. Реймерсу, 1994)

В рамках закона падения природно-ресурсного потенциала действует закон

снижения энергетической эффективности природопользования. С ходом исторического времени при получении из природных систем полезной продукции на ее единицу затрачивается все больше энергии, а энергетические расходы на жизнь одного человека все время возрастают. Так, на одного человека в каменном веке расход энергии (в ккал за сутки) был равен 4 тыс., в аграрном обществе — 12 тыс., в индустриальную эпоху — 70 тыс., а в передовых развитых странах конца XX в. — 230—250 тыс., или в 58—62 раза больше, чем у наших далеких предков.

С начала XX в. количество энергии, которое затрачивалось на единицу сельскохозяйственной продукции, в развитых странах мира возросло в 8—10 раз, на единицу промышленной продукции — в 10—12 раз. Общая энергетическая эффективность сельскохозяйственного производства в промышленно развитых странах примерно в 30 раз ниже, чем при примитивном земледелии. Нередко увеличение затрат энергии на обработку полей, удобрения в десятки раз, приводит к незначительному (10—15%) повышению урожайности. Это связано с необходимостью одновременно с улучшением агротехники учитывать общую экологическую обстановку, налагаемые ею ограничения. Отсюда вывод: рост энергетических затрат не может продолжаться бесконечно. Можно рассчитать вероятный момент неизбежного перехода на новые технологии промышленного и сельскохозяйственного производства, таким образом избежав теплового (термодинамического) кризиса и ослабив ход современного экологического кризиса.

Н.Ф. Реймерс (1994) делает вывод, что экологический кризис в 90-х гг. XX в. явно усиливается. Не соблюдая закон *оптимальности* и вытекающее из него *правило меры преобразования природных систем*, люди вызывают к жизни *правило неизбежных цепных реакций «жесткого» управления природой*. «Жесткое», большей частью техническое, управление природными процессами влечет цепные природные реакции, значительная часть которых оказывается экологически, социально и экономически не-приемлимой в длительном интервале времени. Техногенные изменения вызывают действие *закона внутреннего динамического равновесия* и увеличения энергетических затрат. Экономические цели, к которым стремятся люди, нередко оказываются в тени мощных цепных реакций. Так, если бы была осуществлена переброска части стока северных рек Сибири в Среднюю Азию, то закон внутреннего динамического равновесия и другие законы были бы нарушены настолько глубоко, что могла бы произойти широкорегиональная катастрофа.

В настоящее время положение весьма зыбкое, и многие ученые полагают, что человечество, если оно хочет сохранить цивилизацию, должно решить экологические проблемы в ближайшее время.

20.2. Пути решения экологических проблем

Сбалансированное развитие человечества — путь к решению современных экологических проблем. Сбалансированное развитие, Международная комиссия по охране окружающей среды и развитию ООН характеризует как путь социального, экономического и политического прогресса, который позволит удовлетворить

нужды настоящего и будущих поколений. Иными словами, человечество должно научиться «жить по средствам», использовать природные ресурсы, не подрывая их, вкладывать деньги, образно выражаясь, в «страховку» — финансировать программы, направленные на предотвращение катастрофических последствий собственной деятельности. К таким важнейшим программам следует отнести: сдерживание роста населения; развитие новых промышленных технологий, позволяющих избежать загрязнения, поиск новых, «чистых» источников энергии; увеличение производства продовольствия без роста посевных площадей.

Регулирование рождаемости. Четыре основных фактора определяют численность народонаселения и скорость ее изменения:

разница между коэффициентами рождаемости и смерти, миграция, фертильность и количество жителей в каждой возрастной группе. Пока *коэффициент рождаемости* выше *коэффициента смертности*, население будет увеличиваться со скоростью, зависящей от положительной разницы между этими величинами. Среднегодовая величина изменения населения отдельной области, города или страны в целом определяется по соотношению (новорожденные+иммигранты) — (умершие+эмигранты). Численность населения Земли или отдельной страны может выравниваться или стабилизироваться только после того, как суммарный *коэффициент фертильности* — среднее число детей, рожденных женщиной за ее репродуктивный период, — будет равен или ниже среднего уровня *простого воспроизводства*, равного 2,1 ребенка на женщину. При достижении уровня простого воспроизводства требуется некоторое время для стабилизации роста населения. Продолжительность этого периода зависит в первую очередь от количества женщин, которые находятся в репродуктивном возрасте (15—44 года), и от числа девочек моложе 15 лет, вступающих вскоре в свой репродуктивный период.

Промежуток времени, в течение которого рост населения мира или отдельной страны стабилизируется, после того как средний коэффициент фертильности достигнет или упадет ниже уровня простого воспроизводства, зависит также от *возрастной структуры населения* — процентного соотношения женщин и мужчин в каждой возрастной категории. Чем больше женщин в репродуктивном (15—44 лет) и в дорепродуктивном (до 15 лет) возрасте, тем длиннее период, который потребуется жителям, чтобы достичь нулевого прироста населения (НПН). Основные изменения в возрастной структуре населения, происходящие вследствие высокой или низкой фертильности, имеют демографические, социальные и экономические последствия, которые длятся в течение жизни целого поколения или даже больше.

Нынешние темпы роста населения не могут сохраняться долго. Специалисты утверждают, что уже к концу XX в. общая численность людей превышает допустимую в несколько раз. Естественно, это определяется не по биологическим потребностям человека в пище и т. д., а по качеству жизни, достойному конца XX в., и удельному давлению на среду, возникающему при стремлении к обеспечению данного качества существования. Существует мнение, что ко второй половине XXI в. население Земли стабилизируется на уровне 10 млрд человек. Этот прогноз

основывается на предположении, что рождаемость в развивающихся странах снизится. Практически во всем мире признается необходимость регулирования рождаемости. В большинстве развивающихся стран существуют правительственные программы по контролю за рождаемостью. Проблема заключается в том, что рождаемость снижается параллельно с ростом уровня благосостояния, а при современном быстром темпе роста населения благосостояние можно поднять только при очень высоких темпах экономического развития. Нагрузка на окружающую среду в данной ситуации может превысить допустимый уровень. Снижение рождаемости — единственный приемлемый способ вырваться из этого порочного круга.

Устойчивое развитие в глобальной системе «Общество-природа». Конференция ООН по окружающей среде и развитию, проходившая в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, приняла для всех стран нашей планеты на XXI в. концепцию устойчивого развития как руководство к действию.

Устойчивое развитие — это обеспечение потребностей настоящего времени без ущерба основополагающим параметрам биосферы и не ставящим под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности (рис.20.3).



Рис. 20.3. Спираль устойчивого развития

В глобальной системе «общество — природа» устойчивое развитие означает соблюдение динамического равновесия в социоз-косистемах разного уровня. Компонентами социозэкосистем является общество (социальные системы) и природная среда (эко-и геосистемы).

При ограниченных ресурсных возможностях нашей планеты для непрерывного развития социозэкосистем необходимо поддержание со стороны общества и развития природной средой.

Рациональное управление природными ресурсами. Ограниченность ресурсов Земли является на рубеже XXI в. одной из наиболее актуальных проблем человеческой цивилизации. В связи с этим одним из важнейших условий современности можно считать решение задач по рациональному управлению природными ресурсами. Их выполнение требует не только обширных и глубоких знаний закономерностей и механизмов функционирования экологических систем, но

и целенаправленного формирования нравственного фундамента общества, осознания людьми единства с *природой*, необходимости перестройки системы общественного производства и потребления.

Для сознательного и квалифицированного управления экономикой и природопользованием необходимо:

- определить цели управления;
- разработать программу **их** достижения;
- создать механизмы реализации поставленных задач.

Стратегия развития промышленности, энергетики и борьба с загрязнениями. Главным, стратегическим направлением развития промышленности является переход на новые вещества, технологии, которые позволяют уменьшить выбросы загрязнений. Используется общее правило, что предотвратить загрязнение легче, чем ликвидировать его последствия. В промышленности для этого применяются системы очистки сточных вод, оборотное водоснабжение, газоулавливающие установки, на выхлопных трубах автомобилей устанавливаются специальные фильтры. Переход на новые, более «чистые» источники энергии также способствует уменьшению загрязнения природной среды. Так, сжигание на ГРЭС или ТЭЦ природного газа вместо угля позволяет резко снизить выбросы диоксида серы.

Для всех стран мира крупнейшими, практически *неиссякаемыми вечными и возобновимыми источниками энергии* являются солнце, ветер, текущие воды, биомасса и внутреннее тепло Земли или геотермальная энергия (рис. 20.4).

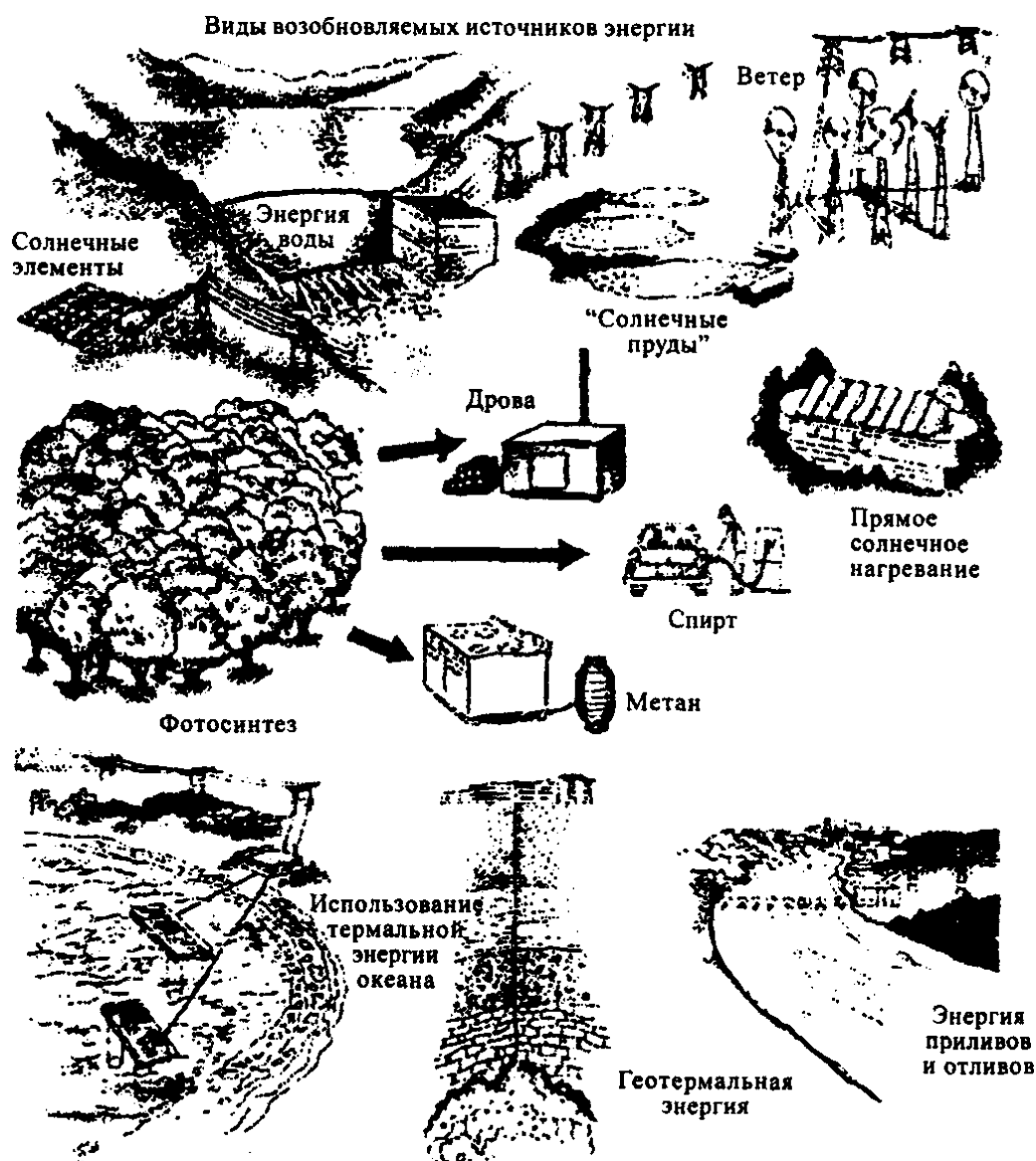


Рис. 20.4. Возобновляемые энергоресурсы (по Б. Небелу, 1993)

Технологии использования *солнечной энергии* быстро развиваются. Фотоэлектрогенераторы уже находят широкое применение, а стоимость производимого ими киловатт-часа энергии в середине 80-х годов по сравнению с 1973 годом сократилась в 50 раз. Ожидается дальнейшее сокращение того же порядка к концу XX в. благодаря применению более эффективных полупроводников и других технологических новшеств. Термоэлектрические генераторы производят более дешевую энергию, и их использование открывает перспективу получения большого количества энергии в аридных районах и ее экспорта в страны с умеренным климатом. Солнечные водонагреватели установлены в 90% всех домов на Кипре, в Израиле 65% горячей воды, используемой в быту, поступает из простых активных гелиосистем. Около 12% домов в Японии и 37% в Австралии также используют такие системы.

Концентрация солнечной энергии для производства высокотемпературного тепла и электричества может быть осуществлена в системах, где громадные

управляемые компьютерами зеркала фокусируют солнечный свет на центральный коллектор тепла, обычно расположенный наверху высокой башни. Эта сконцентрированная солнечная энергия позволяет получить сравнительно высокие температуры, необходимые для промышленных процессов или для производства пара под высоким давлением для вращения турбин и выработки электричества.

Прямое преобразование солнечной энергии в электричество может быть осуществлено при помощи фотоэлементных ячеек, обычно называемых солнечными батареями. В середине 90-х гг. XX в. солнечные батареи снабжали электроэнергией около 15 тыс. домов в разных странах мира.

В некоторых регионах, обладающих особыми условиями, энергия ветра является неограниченным источником энергии. Ветроэнергетические системы, как правило, имеют относительно высокий коэффициент полезного действия, не выделяют углекислый газ или другие загрязнители воздуха, при эксплуатации не требуют воды для охлаждения. В Дании и других странах европейского Севера ветряные двигатели дают не менее 12% электроэнергии. Ветроэнергетические установки не нуждаются в воде, что делает их особенно актуальными в аридных и семи-аридных районах.

С XVII в. кинетическая энергия падающей и текущей воды рек и ручьев используется для выработки электричества на небольших и крупных гидроэлектростанциях. Электричество, вырабатываемое силой падающей воды, является скрытой формой солнечной энергии, благодаря которой происходит гидрологический цикл. В 90-х гг. XX в. на долю гидроэнергии приходился 21% вырабатываемого в мире электричества и 6% всей энергии. Страны и районы, расположенные в горах и на высокогорных плато, имеют наибольший гидроэнергетический потенциал.

В гидроэнергетике получают распространение бесплотинные ГЭС, не наносящие ущерба земельным и водным ресурсам.

Энергия приливов у побережий морей и океанов может использоваться для выработки электричества путем создания плотины, отсекающей залив от морей. Если разница между полной и малой водой достаточно велика, кинетическая энергия этих ежедневных приливных течений, обусловленных приливообразующими силами Луны, может быть использована для вращения турбин, размещенных в плотине и вырабатывающих электричество. Использование энергии приливов для производства электричества имеет целый ряд преимуществ. Прилив как источник энергии практически бесплатен, а коэффициент полезного действия достаточно высок. Не происходит выбросов в атмосферу углекислого газа, загрязнение воздуха и нарушения почвы незначительны.

На Земле есть около 15 мест, где амплитуда приливов и отливов достигает такой величины, что позволяет строить плотины для выработки электроэнергии.

Океаническая вода аккумулирует огромное количество солнечного тепла. Заслуживает внимания практическое использование большой разницы температур холодных глубинных и теплых поверхностных вод тропических океанов для выработки электроэнергии. Разность температур между поверхностью и глубиной в 600 м там, где проходит теплый Гольфстрим, может достигать 22°C. Принцип

работы ОТЕС (океаническая тепловая энергия) сводится к попеременному использованию слоев воды с разной температурой для кипячения и конденсации рабочей жидкости. В промежутках ее пары при высоком давлении вращают турбину.

Солнечные пруды — сравнительно дешевый способ улавливать и запастись солнечную энергию. Искусственный водоем частично заполняется рассолом (очень соленой водой), сверху которого находится пресная вода. Солнечные лучи без помех проходят через пресную воду, но поглощаются рассолом, превращаясь при этом в тепло. Горячий раствор соли может циркулировать по трубам, отапливая помещения или использоваться для выработки электричества. Им нагревают жидкости с низкой точкой кипения, которые, испаряясь, приводят в движение турбогенераторы низкого давления. В связи с тем что солнечный пруд представляет собой высокоэффективный теплоаккумулятор, с его помощью можно получать энергию непрерывно.

Перспективным является использование тепла земных недр или геотермальной энергии. В недрах Земли в результате распада природных радиоактивных веществ идет постоянное высвобождение энергии. Внутренняя часть планеты представляет собой расплавленную горную породу, которая время от времени вырывается наружу в виде вулканических извержений. Это огромное тепло поднимается к поверхности Земли в форме воды и пара с температурой до 300°C. Ресурсы разогретых эндогенным теплом горных пород в 20 раз превышают запасы горючих ископаемых. Геотермальная энергия практически неисчерпаема и вечна, может быть использована для выработки электроэнергии и для обогрева домов, учреждений и промышленных предприятий.

В связи с сокращением запасов нефти и природного газа о водороде (H₂) нередко говорят как о «топливе будущего». Водород легко воспламеняющийся газ, который можно использовать в быту вместо природного, слегка изменив распределительные сети и горелки. Водород может служить и горючим для автомобилей с небольшой модификацией карбюратора. Водород может сжигаться в реакциях с кислородом на электростанции, в специально спроектированном автомобильном двигателе или в топливных элементах, которые преобразуют химическую энергию в постоянный ток. Топливные элементы, работающие на смеси водорода и воздуха, имеют коэффициент полезного действия 60—80%. С экологической точки зрения, использование водорода в качестве топлива значительно чище и безопаснее для окружающей среды, так как единственный побочный продукт горения здесь вода: $2\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{Кинетическая энергия}$. Проблема использования водорода как топлива заключается в том, что он практически в свободном виде не встречается на Земле. Весь он уже окислился до воды. Однако он может быть получен химическим путем из таких природных ресурсов, как уголь и природный газ, за счет использования тепла, электричества и, возможно, солнечной энергии для разложения пресной и морской воды и т. д.

Все большую роль приобретает энергетическое использование биомассы — органического растительного вещества, производимого солнечной энергией в процессе фотосинтеза. Некоторые из этих растительных веществ могут сжигаться

как твердое топливо (древесина и древесные отходы, сельскохозяйственные отходы и городской мусор и др.) или преобразовываться в более удобное газообразное (смесь 60% метана и 40% углекислого газа) или жидкое (метиловый или этиловый спирт) биотопливо. В конце 80 — начале 90-х гг. XX в. на биомассу, главным образом в виде дров и навоза, использовавшуюся для отопления жилищ и приготовления пищи, приходилось около 15% энергии, вырабатываемой в мире.

В целом же следует отметить, что человечество не может и не должно зависеть от одного невозобновимого источника энергетических ресурсов, такого, как нефть, уголь, природный газ или ядерное топливо. Напротив, мир и Россия должны больше рассчитывать на повышение энергоэффективности и комплексное использование вечных и возобновимых источников энергии.

Рациональное использование минеральных ресурсов. Из-за несовершенства технологии добычи и переработки минеральных ресурсов наблюдается разрушение биоценозов, загрязнение окружающей среды, нарушение климата и биогеохимических циклов. К рациональным подходам к извлечению и переработке природных минеральных ресурсов относятся:

- максимально полное и комплексное извлечение из месторождения всех полезных компонентов;

- рекультивация (восстановление) земель после использования месторождений;

- экономное и безотходное использование сырья в производстве;

- глубокая очистка и технологическое использование отходов производства;

- вторичное использование материалов после выхода изделий из употребления;

- использование технологий, позволяющих проводить концентрацию и извлечение рассеянных минеральных веществ;

- использование природных и искусственных заменителей дефицитных минеральных соединений;

- разработка и широкое внедрение замкнутых циклов производства;

- применение энергосберегающих технологий и т. д. Некоторые из современных производств и технологий отвечают многим из этих требований, но вместе с тем нередко они еще не стали нормой производственной сферы и природопользования в мировом масштабе. Например, отходы производства представляют собой неиспользованное вещество, на создание которого затрачен определенный труд. Отсюда выгоднее использовать отходы в качестве исходного сырья для других целей, чем их просто разлагать (рис. 20.5).

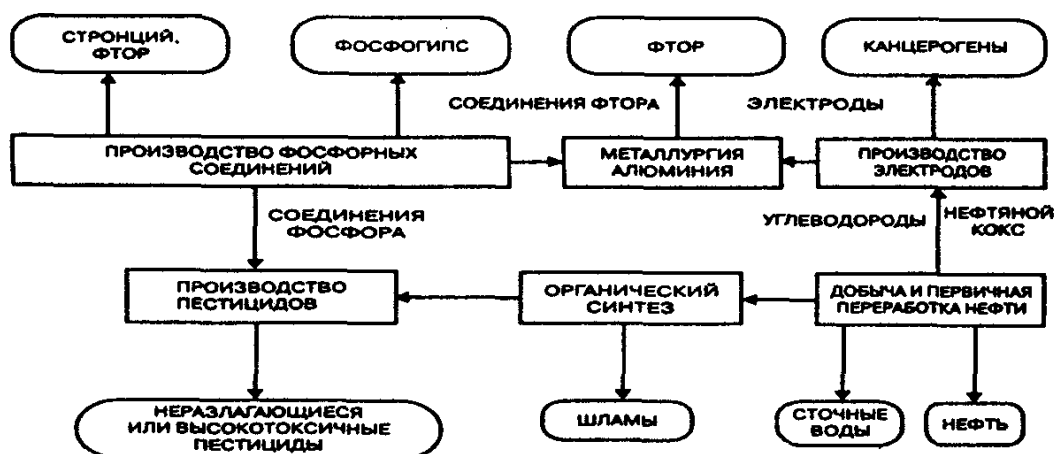


Рис. 20.5. Взаимосвязь производств

Полное использование отходов возможно путем создания замкнутых технологических процессов, объединения мелких предприятий в крупные производственные комплексы, где отходы одних могут служить сырьем для других. В этом случае значительно овышается эффективность использования природных ресурсов, но и до минимума сводится химическое загрязнение природной среды.

Создание новых технологий должно сочетаться с грамотной экологической экспертизой всех, особенно широкомасштабных проектов в промышленности, строительстве, транспорте, сельском хозяйстве и других видах деятельности человека. Проводимая специальными независимыми органами, такая экспертиза позволит избежать многих просчетов и непредсказуемых последствий реализации этих проектов для биосферы.

Стратегия развития сельского хозяйства. В конце XX в. объем мировой сельскохозяйственной продукции рос быстрее, чем население. Однако этот рост сопровождается, как известно, существенными издержками: сведением лесов для расширения посевных площадей, засолением и эрозией почв, загрязнением среды удобрениями, пестицидами и т. д.

В дальнейшем развитии сельского хозяйства стратегическим направлением является повышение урожайности, позволяющей обеспечить растущее население продовольствием без увеличения посевных площадей. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур может быть достигнуто за счет расширения орошения. Большое значение, особенно при недостатке водных ресурсов, должно придаваться капельному орошению, при котором вода рационально используется путем непосредственной ее подачи к корневой системе растений. Другой путь — выведение и возделывание новых сортов сельскохозяйственных культур. Возделывание новых сортов, например зерновых культур, более продуктивных и устойчивых к болезням, дало в последние десятилетия XX в. основной прирост сельскохозяйственной продукции. Этот успех селекционеров был назван «зеленой революцией».

Урожайность повышается при чередовании возделываемых культур

(севооборотах) применительно к зональным условиям, а нередко и при переходе от монокультуры к смешанным посевам, например, совместному выращиванию зерновых культур с бобовыми, особенно на кормовые цели.

Известно, что природные многовидовые ассоциации растений значительно реже страдают от вспышек развития насекомых-вредителей, возбудителей болезней, чем популяции монокультур в агроценозах. Это объясняется высокой концентрацией сельскохозяйственных культур, что делает их удобным объектом для многочисленных хищников, паразитов, возбудителей заболеваний и других вредных организмов, освобождающихся от конкуренции, присущей им в естественной обстановке. Отсюда важным путем повышения урожайности является снижение потерь от вредителей, болезней и сорняков путем интегрированной системы защиты сельскохозяйственных культур, где особое значение в борьбе с вредными организмами придается агротехническим, селекционным, семеноводческим приемам, севооборотам, биологическим методам. Химический метод применяется в крайних случаях, в годы, когда вредные организмы превышают порог вредоносности, создается угроза потерь урожая и другие приемы не дают возможности предотвратить эти потери.

Для получения максимального урожая и длительного поддержания плодородия почвы технология внесения удобрений также сложна и требует определенной экологической культуры. Оптимальное соотношение между минеральными и органическими удобрениями, их нормы, сроки, способы и место внесения, использование полива и рыхление почвы, учет погодных условий — это неполный перечень факторов, которые влияют на эффективность применения удобрений.

Повышение нормы, неправильные сроки или способы внесения, например азотных удобрений, приводят к накоплению их в почве, а в растениях, соответственно, нитратов, вредных в избыточных количествах для человека. Поверхностное и чрезмерное внесение удобрений приводит к частичному их смыву в реки, озера, отравлению воды, гибели животных и растений. Многочисленные примеры нерационального обращения с удобрениями свидетельствуют о необходимости тщательного и серьезного выполнения всех работ в этой отрасли сельского хозяйства.

Вероятно, в XXI в. сельское хозяйство современного типа сохранится. В его развитии нынешние тенденции позволяют надеяться, что растущее население Земли будет обеспечено продовольствием.

Сохранение природных сообществ. Основа благосостояния человечества в будущем — сохранение природного разнообразия. Устойчивость в функционировании биосферы обеспечивает разнообразие природных сообществ.

Животные в сообществах характеризуются определенной продуктивностью, производимой в единицу времени новой биомассой. Человек при использовании изымает часть биомассы в виде урожая, представляющего собой ту или иную долю биопродукции. Снижение продукции может происходить из-за наличия внутривидовой или межвидовой конкуренции, воздействия неблагоприятных условий внешней среды и других факторов. Разница между ней и урожаем может

значительно сократиться и даже стать отрицательной. В последнем случае изъятие будет превышать естественный прирост биомассы того или иного вида животных, популяций.

Разумное использование *биологических ресурсов* состоит:

— в поддержании продуктивности популяции на максимально высоком уровне;

— сборе урожая, величина которого максимально близка к производимой популяцией продукции.

Данное регулирование предполагает глубокое знание экологии эксплуатируемого вида, популяции, выработку и соблюдение норм и правил использования.

Существует три канала, по которым может осуществляться управление продуктивностью популяции: рождаемость, смертность, скорость роста особей. Эти характеристики находятся под влиянием целого ряда факторов: пищевых ресурсов, состояния климата и почв, наличия влаги, света, тепла, плотности популяции, взаимодействия с другими видами, наличия болезней, паразитов и т. д. Поддерживая благоприятные условия и подавляя отрицательные воздействия, тем самым человек может регулировать про-дуцирование биомассы, добиваясь максимальной его скорости. Изменяя интенсивность изъятия биомассы или величины собираемого урожая, человек может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на ту или иную популяцию.

В материальном производстве человек использует в настоящее время незначительный процент видов. Несомненно, в будущем могут быть использованы полезные свойства большего числа видов при условии, если они к тому времени сохранятся. Сохранение природных сообществ важно не только для материального благополучия, но и для полноценного существования человека.

В настоящее время ясно, что для сохранения видового разнообразия необходимы: полная охрана ландшафтов как комплексов экосистем; частичная охрана природных объектов при возможно полном сохранении целостности или облика ландшафта; создание и поддержание оптимального антропогенного ландшафта (рис. 20.6).

Две первые формы охраны ландшафта связаны с заповедными территориями-заповедниками и национальными парками.

Заповедники — высшая форма охраны природных ландшафтов. Участки суши и водных пространств, изъятые в установленном порядке из какого бы то ни было хозяйственного использования и надлежащим образом охраняемые. В заповедниках подлежат охране все присущие его территории или акватории природные тела и взаимосвязи между ними. Охраняется природно-территориальный комплекс в целом, ландшафт со всеми его компонентами.

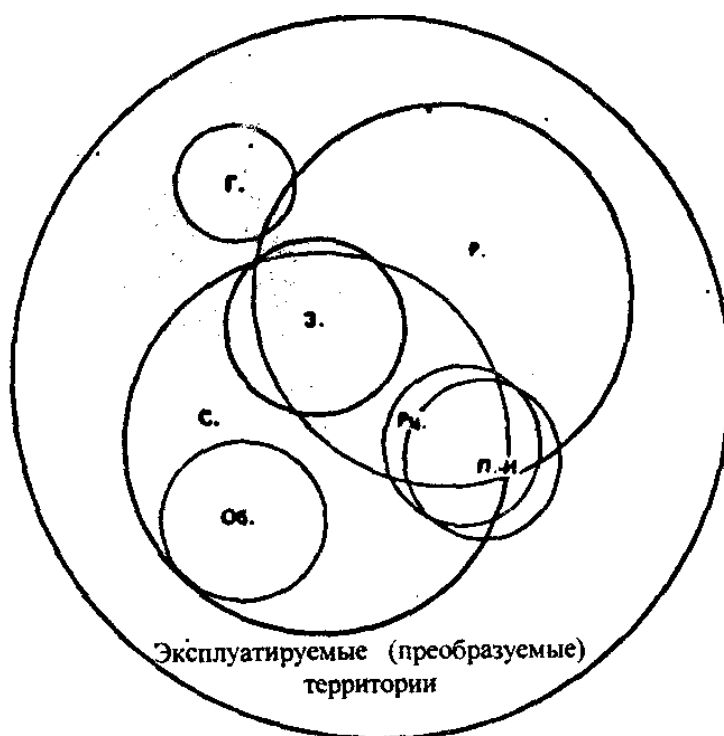


Рис. 20.6. Схема взаимосвязей целей создания особо охраняемых территорий (по Н. Ф. Реймерсу, 1990):

Р. — ресурсоохранные территории; З. — заповедно-эталонные охраняемые территории; Рц. — часть средообразующих и ресурсоохранных территорий, выделенная для целей рекреации (дополняется урбанистскими рекреациями и территориями отдыха в культурных ландшафтах); П.-И. — часть средообразующих и ресурсоохранных территорий, выделенная в познавательных целях; С. — средообразующие охраняемые природные и природно-антропогенные территории; Об. — объектозащитные охраняемые природные и природно-антропогенные территории; Г. — участки специального сохранения генофонда (коллекции сортов культурных растений), в том числе совмещающие цели обучения и пропаганды (экологические и ботанические сады и т. п.)

Основное назначение заповедников — служить эталонами природы, быть местом познания хода естественных, не нарушенных человеком процессов, свойственных ландшафтам определенного географического региона. В 90-х гг. XX в. в России насчитывалось 75 заповедников, в том числе 16 биосферных, общей площадью 19970,9 тыс. га. Был открыт международный российско-финляндский заповедник «Дружба-2», проводилась работа по созданию новых международных заповедников в пограничных районах: российско-норвежский, российско-монгольский, российско-китайско-монгольский.

Национальные парки — это участки территории (акватории), выделенные для сохранения природы в эстетических, оздоровительных, научных, культурных и просветительских целях. В большинстве стран мира национальные парки являются основной формой охраны ландшафтов. Национальные природные парки в России стали создаваться в 80-е гг., а в середине 90-х гг. в XX в. их насчитывалось около 20, общей площадью более 4 млн. га. В большинстве своем их территории представлены лесами и водными объектами.

Заказники. В России кроме «абсолютной» охраны территории (ландшафта)

широко распространен неполный режим охраны в заказниках. Заказники — это участки территории или акватории, на которых в течение ряда лет или постоянно в определенные сезоны или круглогодично охраняются отдельные виды животных, растений или часть природного комплекса. Хозяйственное использование остальных природных ресурсов разрешается в такой форме, которая не наносит ущерба охраняемому объекту или комплексу.

Заказники разнообразны по своим целям. Они создаются для восстановления или увеличения численности охотничье-промысловых животных (охотничьи заказники), создания благоприятной обстановки для птиц во время гнездования, линьки, миграций и зимовок (орнитологические), охраны мест нереста рыб, нагула молоди или мест их зимних скоплений, сохранения особо ценных лесных рощ, отдельных участков ландшафта, имеющих большое эстетическое, культурное или историческое значение (ландшафтные заказники).

Общее количество заказников в 90-х гг. XX в. в России составляло 1519, из них федерального значения — 71, местного 1448. Они занимали 3% территории страны.

Памятники природы — это отдельные невосполнимые природные объекты, имеющие научное, историческое и культурно-эстетическое значение, например пещеры, гейзеры, палеонтологические объекты, отдельные вековые деревья и т. д.

В России имеется 29 памятников природы федерального значения, которые занимают площадь 15,5 тыс. га и расположены большей частью на европейской территории. Число памятников природы местного значения насчитывает несколько тысяч.

В Курганской области в 90-х гг. XX в. 91 природный объект имел статус государственного памятника природы, из них 41

— ботанические. Назовем некоторые: *в Белозерском районе*

— *сосновый лес*, с вековыми деревьями в Тебенякском лесничестве; *в Звериноголовском районе* — *Абугинский бор*, фрагмент *типчаково-разнотравной степи* у с. *Украинец*, *сосна обыкновенная* 200-летнего возраста у санатория «Сосновая роща»; *в Катайском районе* — *Троицкий бор* у г. Катайск, *Белокрыльниковое болото* у с. Ушаковское, *посадки дуба черешчатого*, *урочище Черемуховый наволок*; *в Кетовском районе* — *участок березняка с лесными полянами* по левому берегу р. Утяк *по охране лекарственных растений* у с. Митино, *Просветский дендрарий* у пос. Старый Просвет; *в Петуховском районе* — *сосновые леса с примесью липы* на полуостровах оз. Медвежье в Петуховском и Новоильинском лесничествах; *в Целинном районе* — *пойменный луг с популяцией рябчика шахматовидного* у д. Подуровка; *в Шадринском районе* — *сосновый бор* у с. Мыльниково, *Носиловская дача*; *в Шатровском районе* — *бор-брусничник* у с. Мостовка, *участок леса с елью сибирской* естественного происхождения у д. Бединка, *Дворецкий сад*, у д. Дворцы, *посадки сосны сибирской* в урочище Орловское; *в Шумихинском районе* — *сосновая роща* на острове оз. Медвежье, *остатки сада приусадебного типа* у с. Птичье; *в Щучанском районе* — *участок старовозрастного соснового леса* Советского лесничества; *сосновый лес* в пойме р. Чесноковка; *в Юргамышском районе* — *приозерные сосновые леса* у оз. Тишково,

смешанные леса у д. Красноборье.

В Каргапольском, Куртамышском, Лебяжье-вском, Макушин-ском, Мокроусовском, Шадринском и Шумихинском районах в охраняемые объекты (памятники) включена *темнокорая береза*.

Курортные и лечебно-оздоровительные зоны. На территории России курортные и лечебно-оздоровительные зоны распределены неравномерно (табл. 20.1). В 1992 г., например, только профсоюзам принадлежали 455 здравниц на 213100 мест, где отдыхали и восстанавливали здоровье 2,6 млн человек.

Таблица 20.1

Курортные и лечебно-оздоровительные зоны

Экономический район	Число курортов	Лечебный профиль
Северо-Кавказский	52	Б, К, Г
Восточно-Сибирский	23	Б, К, Г
Уральский	16	Б, К, Г
Северо-Западный	13	Б, К
Западно-Сибирский	10	Б, К, Г
Поволжский	10	Б, К, Г
Центральный	9	Б, К
Дальневосточный	8	Б, К
Волго-Вятский	5	Б
Северный	3	Б
Центрально-Черноземный	1	Б

Примечание: Б — бальнеологический, К — климатологический, Г — грязелечебный.

В охранных зонах природных объектов — заповедников и национальных парков, заказников, природных парков и сани-тарно-курортных зон, зон массового отдыха населения, охраняемых ландшафтах и отдельных природных объектах должны выполняться действующие нормативы (табл. 20.2).

Таблица 20.2

Нормативы охранных зон природных объектов

Объекты	Расстояние от сохраняемых объектов, км				
	до зоны промышленных предприятий различных классов санитарной			до транспор- тных магистр	до границ застройк и
	I	II	III-IV		
Заповедники и национальные парки	10-30	5-10	1-3	1	0,3
Заказники, природные парки и санитарно-курортные зоны	5-10	1-3	0,5-1	0,2	0,2
Зоны массового отдыха населения	5-10	0,5-2	0,2-0,5	0,2	0,2
Охраняемые ландшафты и отдельные природные объекты	3-5	0,5-1	0,2-0,6	0,1	0,1

Примечание. Первое число показывает минимальное удаление промышленных предприятий от охраняемых объектов (размещение с наветренной стороны вниз по течению рек), второе число — необходимую ширину зоны при неблагоприятном размещении предприятий (вверх по течению рек, с подветренной стороны и т.

д.).

Охрана антропогенных ландшафтов. Человек в результате своей хозяйственной деятельности преобразовал огромные территории. Он создал совершенно новые ландшафты: поля, сады, парки, водохранилища, каналы, железные дороги, шоссе, поселки, города. В какой-то мере испытали на себе влияние человека все или почти все ландшафты Земли, но в данном случае мы говорим о ландшафтах качественно новых, в значительной мере созданных человеком, ландшафтах, которые человек в своей деятельности использует постоянно.

Безусловно, антропогенный ландшафт должен быть наиболее рационален, а по отношению к агроценозам — наиболее продуктивен. Одновременно он должен иметь оптимальные условия среды для здоровья человека и отвечать запросам эстетики.

Города и поселения человека — наиболее резко выраженный антропогенный ландшафт, быстро разрастающийся с каждым годом, требующий особой заботы в отношении охраны окружающей среды, и в первую очередь воды и атмосферного воздуха, о чем речь шла ранее.

Большое значение в санитарно-гигиеническом и эстетическом отношении имеет озеленение городов и населенных пунктов. При проектировании новых районов городов, поселков и парков озеленение должно включаться как обязательный раздел.

Деревья в городах способствуют очищению воздуха от пыли и аэрозолей, повышают его влажность, снижают температуру в жаркое время года, выделяют фитонциды, убивающие бактерии, поглощают городской шум.

Для оздоровления и в эстетических целях важное значение имеют посадки древесно-кустарниковой растительности вдоль железных и шоссейных дорог и других транспортных магистралей.

Для агроценозов крайне важно создание не только оптимальных норм лесистости в виде посадок деревьев и кустарников по балкам, обочинам дорог, берегам прудов и на других неудобных землях, но и специальных лесных полос (рис. 20.7), лесопарков, садов и т. п.

Подобные посадки создают благоприятные условия и для основной формы землепользования.

Специальной охране подлежат берега всех водоемов, в том числе и малых рек, где необходима охрана существующей древесно-кустарниковой растительности, восстановление бывшей и посадка новой. Необходимо строгое соблюдение законов, запрещающих промышленное и жилищное строительство непосредственно на берегах водоемов.

Береговые зоны морских и озерных побережий имеют исключительно оздоровительное значение. Использование песка и гальки побережий как строительного материала влечет за собой не только исчезновение пляжа как места лечения и отдыха, но и разрушение берегов. По этой причине запрещается изъятие, например, галечно-песочных материалов с пляжей Черноморского побережья

Краснодарского края. Все формы природно-заповедного фонда, защитные леса и антропогенные ландшафты должны планироваться в единую систему с тем, чтобы она обеспечивала экологическое равновесие биосферы.



Рис. 20.7. Размещение полей защитных лесных полос

В целом же при решении экологических проблем должны предусматриваться следующие виды деятельности:

- местный (локальный) и глобальный экологический мониторинг, т. е. изменение и контроль состояния важнейших характеристик окружающей среды, концентрации вредных веществ в атмосфере, воде, почве;
- восстановление и охрана лесов от пожаров, вредителей и болезней;
- дальнейшее расширение и увеличение заповедных зон, эталонных экосистем, уникальных природных комплексов;
- охрана и разведение редких видов растений и животных;
- международное сотрудничество в деле охраны среды;
- широкое просвещение и экологическое образование населения.

20.3. Международное сотрудничество

Международное сотрудничество в решении глобальных проблем взаимодействия общества и природы является объективной потребностью эпохи, условием существования и прогресса человечества. Предпосылкой международного сотрудничества в решении глобальных проблем выступает прежде всего сама биосфера, ее единство, которое требует совместных действий как при воздействии

на нее, так и при ее охране.

Международные конвенции и соглашения по экологическим проблемам проводятся с XIX в. Первыми были «Конвенция по ловле устриц», заключенная в 1839 г. между Францией и Великобританией, «Соглашение об охране морских котиков», достигнутое в 1867 г. между Россией, США и Японией, ряд конвенций и соглашений по рыболовству. Несколько конвенций и соглашений было заключено в начале XX в. по охране перелетных птиц и защите растений от вредителей и болезней.

В 20—40-х гг. XX в. нашей страной были заключены соглашения с Финляндией о рыболовстве в пограничных водах, совместном использовании водных ресурсов с Афганистаном, конвенция с Турцией о предотвращении занесения эпизоотии, многосторонняя конвенция с Афганистаном и Ираном по защите растений, а также по борьбе с саранчой. Особенно быстро развивались международные отношения с конца 40-х гг. XX в., после окончания Второй мировой войны, охватившие самые различные природные объекты и окружающую среду. Организационные формы международного сотрудничества стали многообразными. Они подразделяются на международные правительственные союзы (МПО) и международные неправительственные объединения (МНПО). Крупнейшей *международной межправительственной организацией* является Организация Объединенных Наций (ООН), в состав которой входят Организация Объединенных Наций по вопросам просвещения, науки и культуры (ЮНЕСКО), Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и др. Необходимость международного сотрудничества в области изучения и использования в мирных целях атомной энергии привела к созданию в 1957 г. Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В целях исследования значения океана для человечества в 1960 г. была создана Межправительственная океаническая комиссия (МОК). В этот период было заключено более 250 международных договоров, соглашений, конвенций, имеющих природоохранительное значение. Среди них такие важные, как Московский договор 1963 г. «О запрещении испытания ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой», который подписали более 100 стран. В мае 1972 г. было подписано межправительственное соглашение между СССР и США, охватывающее 11 крупных проблем в рамках 39 конкретных проектов. В Стокгольме в 1972 г. на конференции ООН была принята Декларация об охране окружающей среды и было объявлено, что 5 июня является «Международным днем охраны окружающей среды».

Генеральная ассамблея ООН в 1981 г. по инициативе нашей страны приняла резолюцию «Об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и грядущих поколений», в которой отмечалось пагубное последствие для природной среды гонки вооружений. Особое место в 50—90-х гг. XX в. занимали Международные Межправительственные организации социалистических стран — Совет Экономической Взаимопомощи (СЭВ) и другие. В рамках СЭВ была принята и осуществлялась комплексная программа по 14

проблемам рационального использования и охраны природных ресурсов.

Важную роль в решении экологических проблем играют *международные неправительственные организации*: Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП), Всемирный фонд охраны природы (ВФОП), Международная молодежная федерация (ММФ), Международный совет научных союзов (МСНС), Всемирная конфедерация организации преподавательских профессий (ВКОПП).

В 90-х гг. XX в. Россией продолжено международное сотрудничество по восьми основным программам в рамках ЮНЕП, в частности, по решению проблем Аральского и Черного морей, озера Байкал, по преодолению последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В 1991 г. произошло подключение к Глобальной базе данных о природных ресурсах (ГРИД), действующей в рамках ЮНЕП.

Среди результатов сотрудничества с Европейской экономической комиссией ООН (ЕЭК) следует выделить подготовку конвенций по трансграничным последствиям промышленных аварий, по охране и использованию трансграничных водных путей и международных озер.

Продолжалось сотрудничество страны с Всемирной метеорологической организацией (ВМО) по Программе службы погоды. В рамках проекта «Человек и биосфера» (МАЕ) продолжается работа по развитию международной сети биосферных заповедников, разработан ряд проектов по Международной гидрологической программе.

Во Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) осуществляется работа по решению проблем здравоохранения и окружающей среды, питьевого водоснабжения и санитарии, безопасных химических веществ. Взаимодействие с МАГАТЭ включало проведение экспертизы уровня безопасности АЭС, обращение с радиоактивными отходами.

Центральное место в сотрудничестве с неправительственными экологическими организациями занимала подготовка к КОСР-92. В 1991 г. Россия стала членом Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП).

В рамках *многосторонних конвенций и соглашений* продолжается сотрудничество по совместной программе наблюдения и оценки распространения загрязняющих воздух веществ в Европе (ЕМЕП) в рамках Хельсинкской комиссии по защите морской среды района Балтийского моря (ХЕЛКОМ).

Осуществляется и *двухстороннее сотрудничество* на межправительственном и межведомственном уровнях. Действуют более 20 соглашений, в том числе подписаны соглашения с Австрией, Испанией, Нидерландами, Румынией, Японией. Развитие связей с Финляндией направлено на улучшение экологической обстановки в сопряженных регионах (снижение загрязнения бассейна Балтийского моря, реконструкция комбината «Печенгани-кель»), приграничных районах Финляндии, Республики Карелия и России, проведение совместных работ в международных заповедниках и национальных парках.

20.4. Экологическое воспитание

и просвещение

Экологическое воспитание и просвещение (формальное и неформальное образование в области окружающей среды) — это формирование у человека сознательного восприятия окружающей природной среды, убежденности в необходимости бережного отношения к природе, к разумному использованию ее богатств, пониманию важности приумножения естественных ресурсов. В современных условиях экологическое воспитание и просвещение — основы основ процесса гармонизации взаимодействия общества с природой.

Задача такого воспитания является сложной, комплексной, приобретающей все большую актуальность. Ее решение способствует формированию у человека высокосознательного, ответственного отношения к обеспечению благоприятной по качеству окружающей среды. В эту задачу входит пробуждение широкой инициативы и активной жизненной позиции граждан, которые требуются для решения экологической проблемы (рис. 20.8).

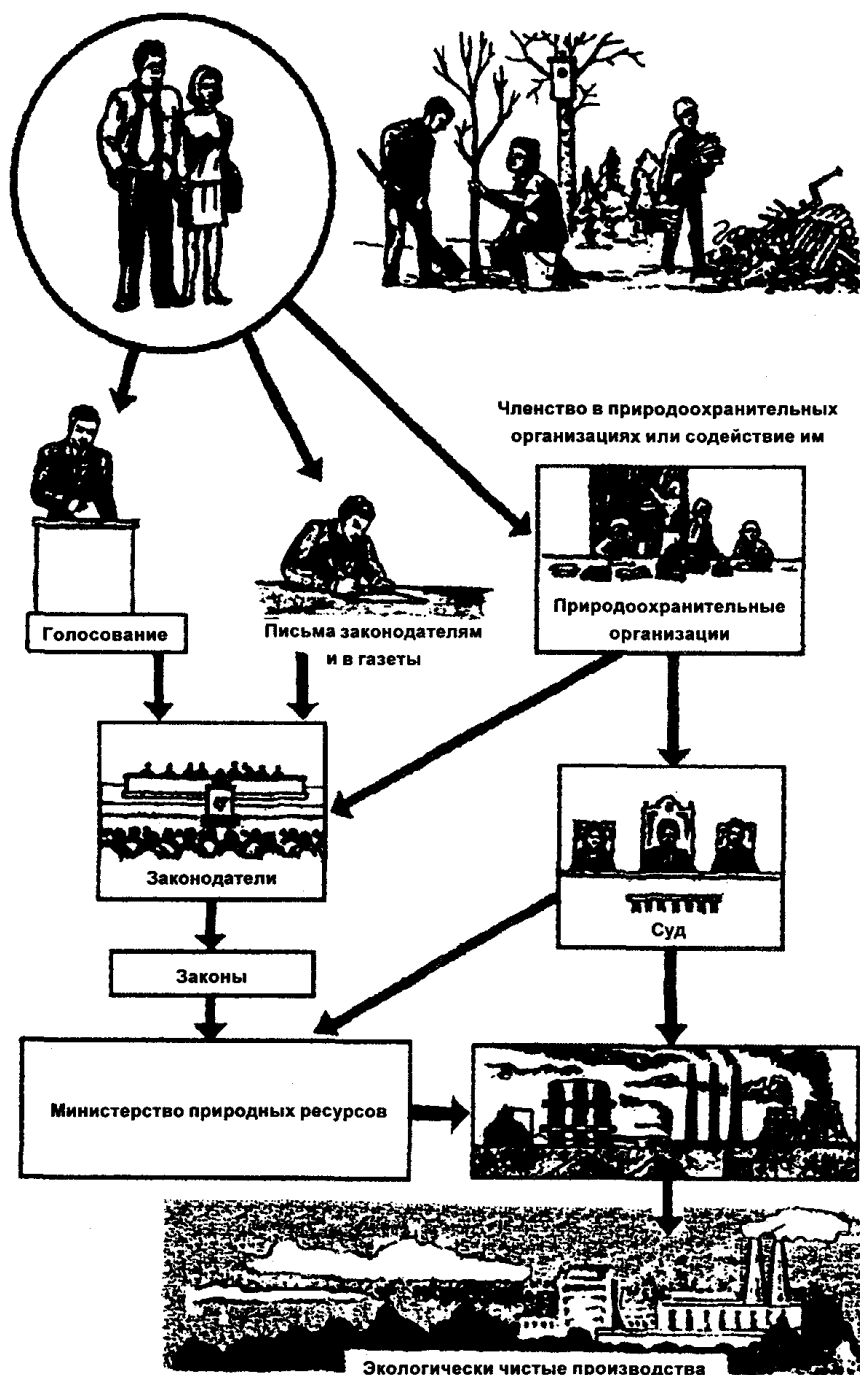


Рис. 20.8. Виды природоохранной деятельности

Экологическое просвещение должно привить человеку в первую очередь знания и навыки разумного общения с природой, совершенствовать методы и способы конструктивного участия в охране природы и рациональном природопользовании.

Развитие и улучшение экологического воспитания и просвещения в нашей стране обусловлены законодательством. Конституционное положение о существовании и совершенствовании единой системы образования, праве граждан на него, законы об образовании, охране природы, природоохранные постановления содержат необходимые юридические нормы, совокупность которых образует правовую базу экологического воспитания и просвещения. В связи с этим на государственном уровне разработаны меры, предусматривающие улучшение

подготовки учащихся школ, средних специальных и высших учебных заведений в области экологии, подготовку и выпуск в более широких масштабах высококвалифицированных специалистов этого профиля, способных умело, хозяйски вовлекать в дело огромные природные ресурсы. Предписывается усиление работы по распространению среди населения экологических знаний, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов.

Вопросы экологического просвещения решаются не только на уровне Российской Федерации, но и международном уровне, например, в осуществлении международной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера». Так, еще в 1977 г. в Тбилиси ЮНЕСКО организовал Межправительственную конференцию по образованию в области охраны окружающей среды, принявшую ряд важных решений по природоохранительному просвещению на всех уровнях.

Экологическое просвещение входит в число важнейших аспектов деятельности Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП). МСОП тесно сотрудничает по вопросам экологического просвещения с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП), ведущей активную пропаганду охраны природы во всем мире как по собственным каналам информации, так и по каналам системы ООН и неправительственных организаций многих стран. Здесь ключевым моментом является формирование новой *социальной и экологической нравственности*. На смену лозунгам «Мы не можем ждать милостей у природы, взять их у нее — наша задача!» или «Человек — царь природы!» должны прийти установки на разумное и бережное отношение к Природе, к нашему общему дому — планете Земля. Нам необходимо осознание единства человечества — одной из основ экологической нравственности и гуманизма.

21. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

21.1. Экологический прогноз и прогнозирование

Человечество издревле стремилось узнать будущее. Египетские жрецы, оракулы Древней Греции и Рима, средневековые гадалки и астрологи, первые ученые-прогнозисты — от социальных утопистов до естественников, пытавшихся прогнозировать погоду (среди них были Ламарк и Фиц-Рой — капитан всемирно

известного «Бигля», на котором Дарвин совершил кругосветное путешествие), современные ученые, кующие научное предвидение, — таков путь обширной области знания, носящей название прогноза или прогнозирования.

Прогноз — всякое конкретное предсказание или вероятностное суждение о состоянии чего-то (кого-то) или о проявлении какого-то события в будущем. *Экологический прогноз* — предсказание изменений природных систем в локальном, региональном и глобальном масштабах.

Прогноз, таким образом, представляет собой специфический вид познания, где прежде всего проводят исследования не того, что есть, а того, что будет.

Прогнозирование — совокупность приемов мышления, позволяющих на основе ретроспективного анализа внешних и внутренних связей, присущих объекту, а также их вероятных изменений в рамках рассматриваемого явления или процесса, вынести суждения определенной достоверности относительно его будущего развития.

Экологическое прогнозирование — предсказание возможного поведения природных систем, определяемого естественными процессами и воздействием на них человечества.

Настойчивое стремление человека к знанию будущего не случайно. Оно важно и в мелочах, и в крупном. Малейшая ошибка может обернуться трагическим уроком. Издавна, со времен значительно более древних, чем раннеегипетское царство, людям было необходимо точно знать, когда лучше всего сеять ту или иную сельскохозяйственную культуру, выгонять скот на пастбище. Запоздаешь или раньше высеешь в почву семена, и они либо попадут под засуху, либо зальет их половодье. Платой за ошибку будет голод. .

Когда мы говорим о природном экологическом равновесии, то подразумеваем, что это равновесие очень подвижно. Завтра природа будет не той, что сегодня. Если же мы на нее как-то воздействуем, то она будет еще и не той, что была бы в своем саморазвитии. Отсюда значение прогноза в экологии трудно переоценить. Главной целью прогноза является *оценка* предполагаемой реакции окружающей природной среды на прямое или опосредованное воздействие человека, решение задач будущего рационального использования природных ресурсов в связи с ожидаемыми состояниями окружающей среды. Современные прогнозы должны проводиться, исходя из общечеловеческих ценностей, главными из которых является человек, его здоровье, качество окружающей среды, сохранение планеты Земля как дома для человека.

Виды прогнозов. Прогнозы можно подразделить по времени, по масштабам прогнозируемых явлений и по содержанию (рис. 21.1).



Рис. 21.1. Виды прогнозов

По времени упреждения различают следующие виды прогнозов: *сверхкратковременные* (до одного года), *краткосрочные* (до 3—5 лет), *среднесрочные* (до 10—15 лет), *долгосрочные* (до нескольких десятилетий вперед), *сверхдолгосрочные* (на тысячелетия и более вперед).

Как видим, срок, на который дается прогноз, может быть различным. Например, проектируя крупный промышленный объект со сроками эксплуатации 100—120 лет, нужно знать, какие изменения в окружающей природной среде могут возникнуть под воздействием данного объекта в 2100—2200 гг. Здесь уместно сказать: «Будущее управляется из настоящего». Однако, чем долгосрочное прогнозы, тем они менее точны — это непреложный факт.

По масштабам прогнозируемых явлений прогнозы делятся на четыре группы: *глобальные* (их называют также физико-географическими), *региональные* (в пределах нескольких стран мира), *национальные* (государственные), *локальные* (край, область, иногда административный район или еще меньшая территория, например заповедник). Чем крупнее регион, тем более суровой будет расплата за ошибки экологического прогнозирования. На локальном уровне, образно выражаясь, при «разбитом корыте» ресурсы можно занять у соседей. На национальном уровне могут оказать помощь дружественные страны. Региональные экологические катастрофы типа жестоких засух 70-х гг. XX в. в зоне южнее Сахары, называемые Сахелью, несмотря на международную помощь, влекут за собой неисчислимы бедствия. Сахельская трагедия была предсказана в 40-е гг. XX в., но никто не придал серьезного значения сделанному экологическому предостережению. В результате пало до 80% скота, погибли почти все дети в возрасте до двух лет. Число человеческих жертв, по некоторым данным, достигло 2 млн человек. Игнорирование же всеземных экологических прогнозов может привести к таким серьезным последствиям, которые недопустимы и должны быть предотвращены. Другого пути нет. Например, вырубая влажные экваториальные леса Африки и Южной Америки, человек тем самым воздействует на состояние атмосферы Земли в целом: уменьшается содержание кислорода, увеличивается количество углекислого газа. Антропогенное загрязнение атмосферы, в первую очередь связанное с энергетикой и выделением техногенной углекислоты, по мнению американских и российских климатологов, грозит глобальным потеплением: от 0,8 до 1°C за 10 лет—скорость потепления, какой планета никогда не знала. Только на основе глобального прогноза будущего потепления климата можно будет предвидеть, как отразится потепление в конкретных регионах нашей планеты.

По содержанию прогнозы относятся к конкретным отраслям наук: геологические, метеорологические и др. В географии комплексный прогноз относят к *общенаучным*.

Методы прогнозирования последствий антропогенного воздействия на окружающую среду. Все методы прогнозирования можно объединить в две

группы: логические и формализованные (рис. 21.2).

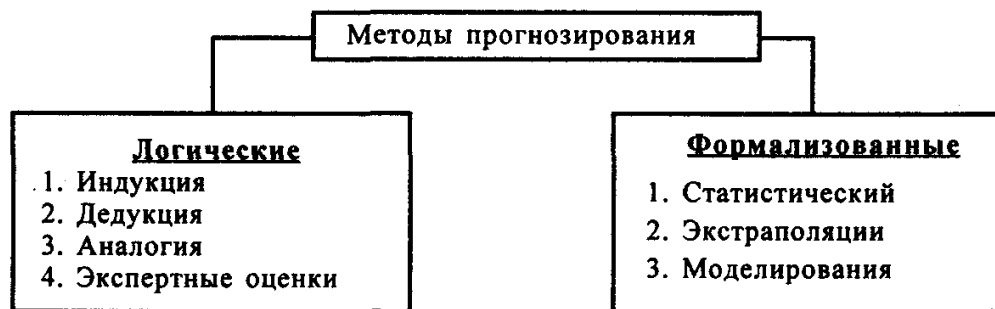


Рис. 21.2. Методы прогнозирования

В связи с тем что в экологии, и в частности в природопользовании, приходится большей частью иметь дело со сложными зависимостями природного и социально-экономического характера, то в первую очередь используют *логические методы*, которые устанавливают связи между объектами. К логическим относят методы индукции, дедукции, экспертных оценок, аналогии.

Методом индукции устанавливают причинные связи предметов и явлений. Индуктивным методом исследование обычно начинают со сбора фактических данных, выявляются черты сходства и различия между объектами и делаются первые попытки обобщения. Так, для составления прогноза погоды необходимо провести соответствующие наблюдения и измерения, после чего можно сделать вывод в целом о погоде на сутки.

При дедуктивном методе идут наоборот, от общего к частному, т. е., зная общие положения и опираясь на них, приходят к умозаключению. Этот метод помогает определить стратегию прогнозных исследований. Индуктивный и дедуктивный методы тесно связаны между собой.

При отсутствии об объекте прогноза достоверных сведений и если объект не поддается математическому анализу, то в этом случае *используют метод экспертных оценок*, суть которого состоит в определении будущего на основании мнения квалифицированных специалистов-экспертов, привлекаемых для вынесения оценки по проблеме. Существуют индивидуальная и коллективная экспертизы. Для прогнозирования методом экспертных оценок специалисты используют статистические, картографические и другие материалы.

Метод аналогий исходит из того, что закономерности развития одного процесса с определенными поправками можно перенести на другой процесс, для которого необходимо составить прогноз. Метод аналогий чаще всего применяют при разработке локальных прогнозов. Так, при прогнозировании влияния будущего водохранилища на окружающую среду можно использовать данные по уже имеющемуся водохранилищу, которое находится в сходных условиях.

Формализованные методы подразделяют на статистический, экстраполяции, моделирования и др.

Статистический метод опирается на количественные показатели, которые позволяют сделать вывод о темпах развития процесса в будущем (табл. 21.1).

Таблица 21.1

Использование территории США

Природные ресурсы, млн га	Годы					
	1977	1990	2000	2010	2020	2030
Леса и лесные земли	298,5	296,5	294,8	293,2	291,6	290,8
Пастбища	3	3	3	3	3	3
Прочие земли	32,1	27,2	22,4	17,9	14,3	08,7
Водная поверхность	282,3	288,0	293,2	298,5	303,3	308,2
	43,3	44,6	45,6	46,6	47,0	47,8

Метод экстраполяции представляет собой перенесение установленного характера развития определенной территории или процесса на будущее время. Так, если известно, что при создании водохранилища при неглубоком расположении грунтовых вод на участке началось подтопление и заболачивание, то можно предположить, что в дальнейшем здесь будут продолжаться эти процессы и приведут в конечном итоге к образованию болота.

В заключение следует напомнить слова Жюль Верна: «Все, что может, сбывается». Не следует отбрасывать то, что с первого взгляда несущественно! Не всегда еще человек сильнее природы. Необходимо зорко следить за всем грозным, что потенциально может сбыться. Маленькая засуха может превратиться в грандиозное опустынивание, легкий ветерок — в бурю, крошечный ледничок — в оледенение, пустычные перемены — в катастрофу.

21.2. Моделирование природных процессов в решении экологических проблем

Надорганизменные системы (популяции, биоценозы, экосистемы, биосфера), изучаемые экологией, чрезвычайно сложны. В них возникает большое количество взаимосвязей, сила и постоянство которых непрерывно меняются. Одни и те же внешние воздействия нередко приводят к различным, а иногда и к противоположным результатам. Это зависит от состояния, в котором находилась система в момент воздействия. На действие конкретных факторов предвидеть ответные реакции системы можно только через сложный анализ существующих в ней количественных взаимоотношений и закономерностей. Поэтому широкое распространение в экологии получило моделирование, особенно при изучении и прогнозировании природных процессов.

Термин «*модель*» имеет целый ряд смысловых значений:

1) физическое (вещественно-натуральное) или знаковое (математическое, логическое) подобие (обычно упрощенное) реального объекта, явления или процесса; 2) уменьшенное подобие реального объекта; отличают действующую модель и только имитирующую форму чего-то (макет); 3) схема, изображение или описание какого-либо явления или процесса в природе и обществе.

В экологии под *моделью* довольно часто понимается материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает

объект-оригинал, и его непосредственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале. Модель неизбежно упрощает действительность и в то же время показывает особенно ярко элементы и связи, интересующие ученого.

Моделирование — метод исследования сложных объектов, явлений и процессов путем их упрощенного имитирования (натурного, математического, логического). Основывается на теории подобия (сходства) с объектом-аналогом.

Требования, предъявляемые к моделям. Важнейшие требования к любой модели — ее подобие с моделируемым предметом и наличие следующих свойств:

— модель — это увеличенное (клетка) или уменьшенное (глобус) подобие объекта;

— модель может замедлить быстро протекающие процессы или ускорить медленно протекающие;

— модель упрощает реальный процесс, что дает возможность обратить внимание на главную сущность объекта.

Виды моделей. Модели принято делить на две группы: *материальные* (предметные) и *идеальные* (мысленные), рис. 21.3.

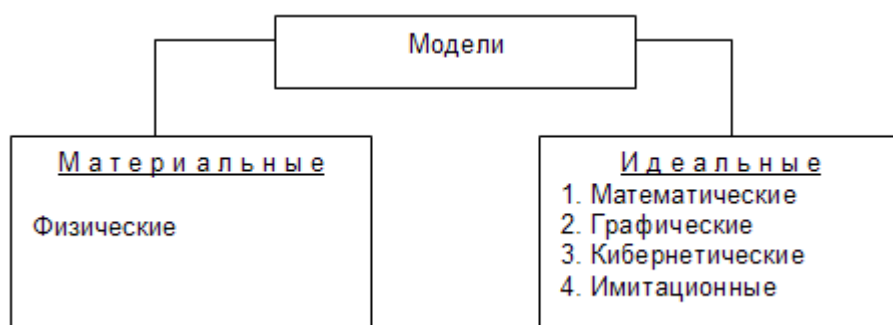


Рис. 21.3. Виды моделей

Из материальных моделей наиболее широко распространены в природопользовании физические модели. Например, при создании крупных проектов, таких, как строительство ГЭС, связанных с изменениями окружающей природной среды. Вначале строятся уменьшенные модели устройств и сооружений, на которых исследуются процессы, происходящие при заранее запрограммированных воздействиях.

Во второй половине XX в. среди видов моделей в экологии все большее значение приобретают идеальные: математические, кибернетические, имитационные, графические модели.

Суть математического моделирования заключается в том, что с помощью математических символов строится абстрактное упрощенное подобие изучаемой системы. Далее, меняя значение отдельных параметров, исследуют, как поведет себя данная искусственная система, т. е. как изменится конечный результат.

Математические модели, строящиеся с применением ЭВМ, называют *кибернетическими*.

Исследования, в которых ЭВМ играет важную роль в самом процессе

построения модели и проведения модельных экспериментов, получили название *имитационного моделирования*, а соответствующие модели — имитационных.

Графические модели представляют блок-схемы (рис. 21.4) или раскрывают зависимость между процессами в виде таблицы-графика. Графическая модель позволяет конструировать сложные эко- и геосистемы.

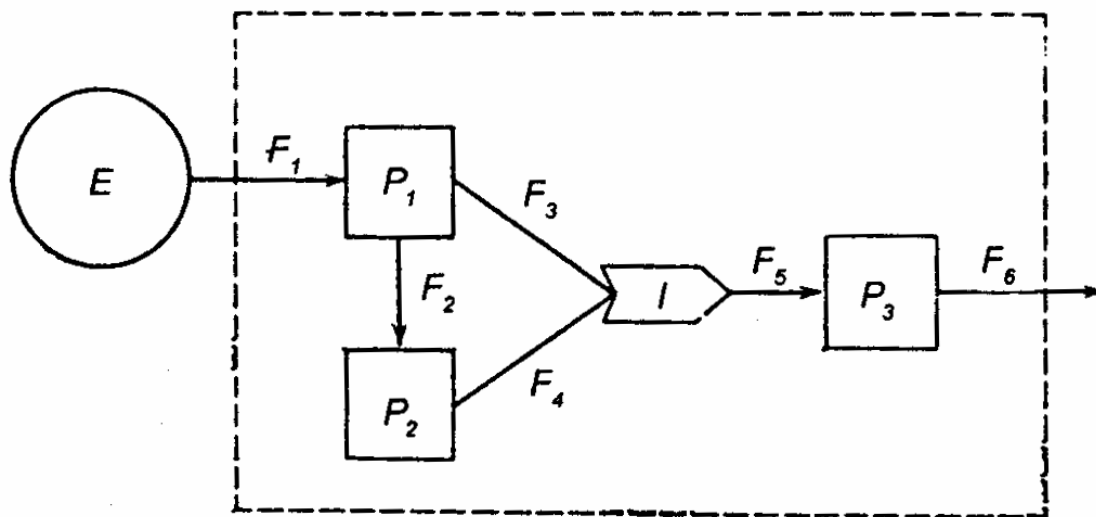


Рис. 21.4. Блок-схема, на которой показаны четыре основных компонента, учитываемых при моделировании экологических систем (Ю. Одум, 1986):

Е — движущая сила; Р — свойства; F — потоки; I — взаимодействие

По охвату территории все модели могут быть: *локальными, региональными и глобальными*.

В построении математических моделей сложных природных процессов выделяются следующие этапы.

1. Реальные явления, которые планируется смоделировать, должны быть тщательно изучены: выявлены главные компоненты и установлены законы, определяющие характер взаимодействия между ними. Если неясно, как связаны между собой реальные объекты, построение адекватной модели невозможно. На данном этапе нужно сформулировать вопросы, на которые ответ должна дать модель. Прежде чем строить математическую модель природного явления, надо иметь гипотезу о его течении.

2. Разрабатывается математическая теория, описывающая изучаемые процессы с необходимой деятельностью. На ее основе строится модель в виде абстрактных взаимодействий. Установленные законы должны быть облечены в точную математическую форму. Конкретные модели могут быть предоставлены в аналитической форме (системой аналитических уравнений) или в виде логической схемы машинной программы. Модель природного явления есть строгое математическое выражение сформулированной гипотезы.

3. Проверка модели — расчет на основе модели и сличения результатов с

действительностью. При этом проверяется правильность сформулированной гипотезы. При значительном расхождении сведений модель отвергают или совершенствуют. При согласованности результатов модели используют для прогноза, вводя в них различные исходные параметры.

По Ю. Одуму (1986), моделирование обычно начинают с построения схемы или графической модели, часто представляющей собой блок-схему (см. рис. 21.4).

На рис. 21.4 буквами P_1 и P_2 обозначены два свойства, которые при взаимодействии (I) дают некое третье свойство P_3 (или влияют на него), когда система получает энергию от источника E . Обозначены также пять направлений потоков вещества и энергии (F), из которых F_1 — вход, а F_6 — выход для системы как целого. Отсюда, в работающей модели экологической ситуации имеется как минимум четыре ингредиента или компонента: 1) источник энергии или другая внешняя *движущая сила*; 2) свойства, которые системо-аналитики называют *переменными состояний*; 3) *направления потоков*, связывающих свойства между собой и с действующими силами через потоки энергии и вещества; 4) *взаимодействия* или *функции взаимодействий* там, где взаимодействуют между собой силы и свойства, изменяя, усиливая или контролируя перемещение веществ и энергии или создавая качественно новые (эмерджентные) свойства. Блок-схема на рис. 21.4 может служить *моделью лугопастбищной экосистемы*, в которой P_1 — зеленые растения, превращающие солнечную энергию E в пищу. В этом случае P_2 обозначает растительноядное животное, поедающее растения, а P_3 — всеядное животное, которое может питаться как растительноядными, так и растениями. Взаимодействие I может представлять несколько возможностей. Это может быть «случайный» переключатель, если наблюдения в реальном мире показали, что всеядное животное P_3 питается P_1 и P_2 без разбора в зависимости от их доступности. I может также иметь постоянное процентное значение при обнаружении, что рацион P_2 состоит, к примеру, на 80% из растительной и на 20% из животной пищи, независимо от того, каковы запасы P_1 и P_2 . I может быть и «сезонным» переключателем в том случае, когда P^{\wedge} питается растениями в один сезон года и животными — в другой. Наконец, I может быть пороговым переключателем, если P_3 сильно предпочитает животную пищу и переключается на растения только тогда, когда уровень P_2 падает ниже определенного порога.

В качестве научной основы природопользования используется модель *геосистемы* (географической системы). Эта модель применяется в природопользовании для прогнозирования, а также с целью управления природопользованием посредством воздействия на один компонент для получения положительного эффекта от другого.

Природная геосистема рассматривается обычно как сравнительно простая географическая модель, саморегулирующаяся система. Ее целостность поддерживается взаимосвязью природных компонентов. В более сложные модели в качестве нового элемента вводится человек (общество), рис. 21.5.

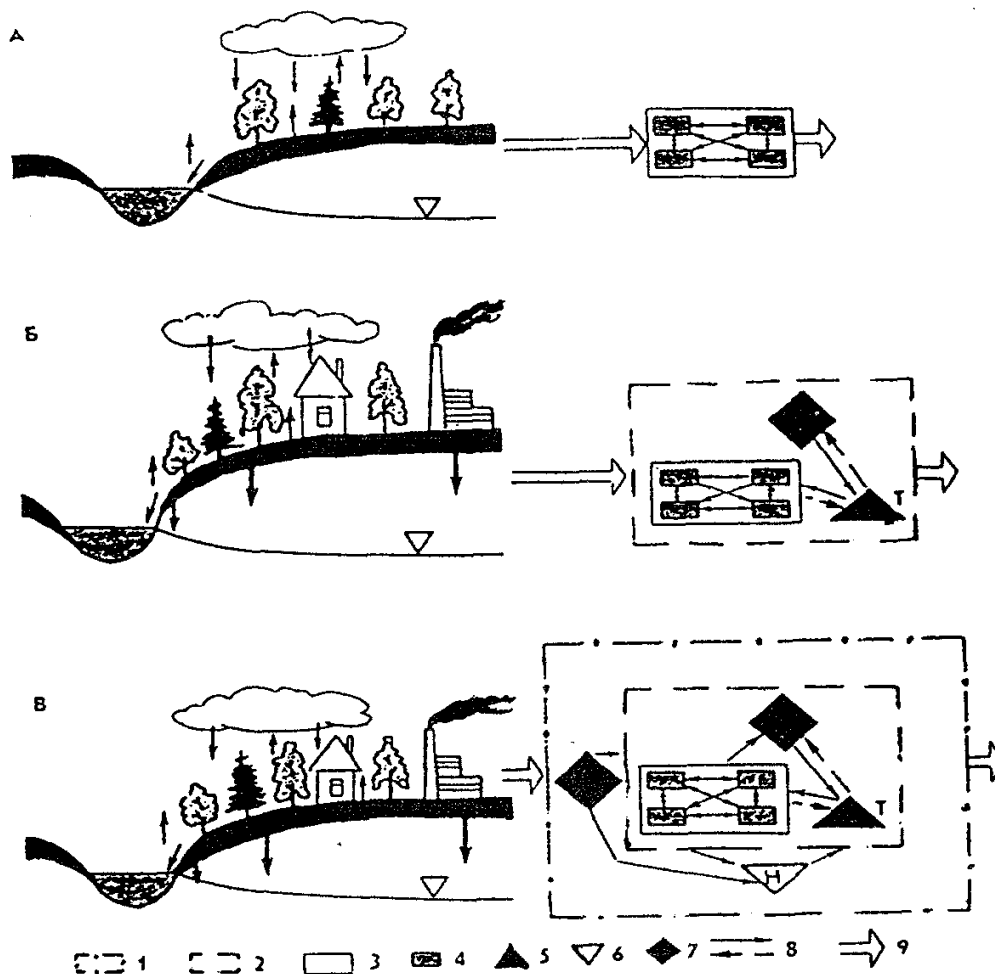


Рис. 21.5. Модели разных видов геосистем — природной (А), природно-технической (Б), интегральной (В)

Схематические рисунки и соответствующие им графические модели справа показывают увеличение числа элементов, составляющих каждую геосистему, и связей между ними: 1 — граница интегральной геосистемы; 2 — граница природно-технической геосистемы; 3 — граница природной геосистемы; 4 — природные компоненты, элементы; 5 — технические элементы, подсистемы; 6 — население; 7 — орган управления, принимающий и контролирующий решения; 8 — связи между компонентами, элементами, подсистемами; 9 — связи на входе и выходе систем

Человек способен не только приспосабливаться к природной геосистеме, но и ее преобразовывать. Использование таких моделей является типичным при изучении систем типа «человек — среда». Используя данные модели, можно проследить цепочку: воздействия на природный комплекс → изменение комплекса → последствия изменения природы для человеческой деятельности → изменение деятельности → изменение ее воздействия на природу и т. д.

В *природно-технических системах* техника и природа представлены как элементы одной системы (рис. 21.5Б).

Подход, в котором природа и техника рассматриваются как элементы одной системы, несомненно, способен углубить представления о механизме взаимодействия, выявить последствия воздействия техники на природу. Здесь

представление о геосистеме как системе самоуправляемой относительно быстро меняется на представление о ней как системе управляемой.

Геосистема, включающая в качестве своих элементов население и орган управления, который принимает и контролирует решения, называется *интегральной* (рис. 21.5В). Для рационального природопользования это очень важно, так как ставится задача выработки системы мер по сохранению целостности геосистемы.

21.3. Экологический мониторинг

Экологический мониторинг — это система наблюдений, оценки и прогноза, позволяющая выявить изменение состояния окружающей среды под влиянием антропогенной деятельности.

Термин «мониторинг» образован от латинского слова «*монитор*» — наблюдающий, предостерегающий (так называли впередсмотрящего матроса на парусном судне). Идея глобального мониторинга окружающей человека природной среды и сам термин «мониторинг» появились в 1971 г. в связи с подготовкой к проведению Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972). Первые предложения по разработке такой системы были выдвинуты Научным комитетом по проблемам окружающей среды (СКОПЕ).

Профессор Р. Мэнн в 1973 г. в постановочном аспекте изложил концепцию мониторинга, которая была обсуждена на первом Межправительственном совещании по мониторингу (Найроби, февраль 1979 г.). Мониторингом Р. Мэнн предложил называть систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой.

В 90-х гг. XX в. в Российской Федерации мониторинг природной среды и источников антропогенных воздействий осуществляется службами Госкомгидромета, Санэпиднадзора, Министерства охраны окружающей среды, Минсельхозпрода и других ведомств.

Цель экологического мониторинга — информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью (рис. 21.6).

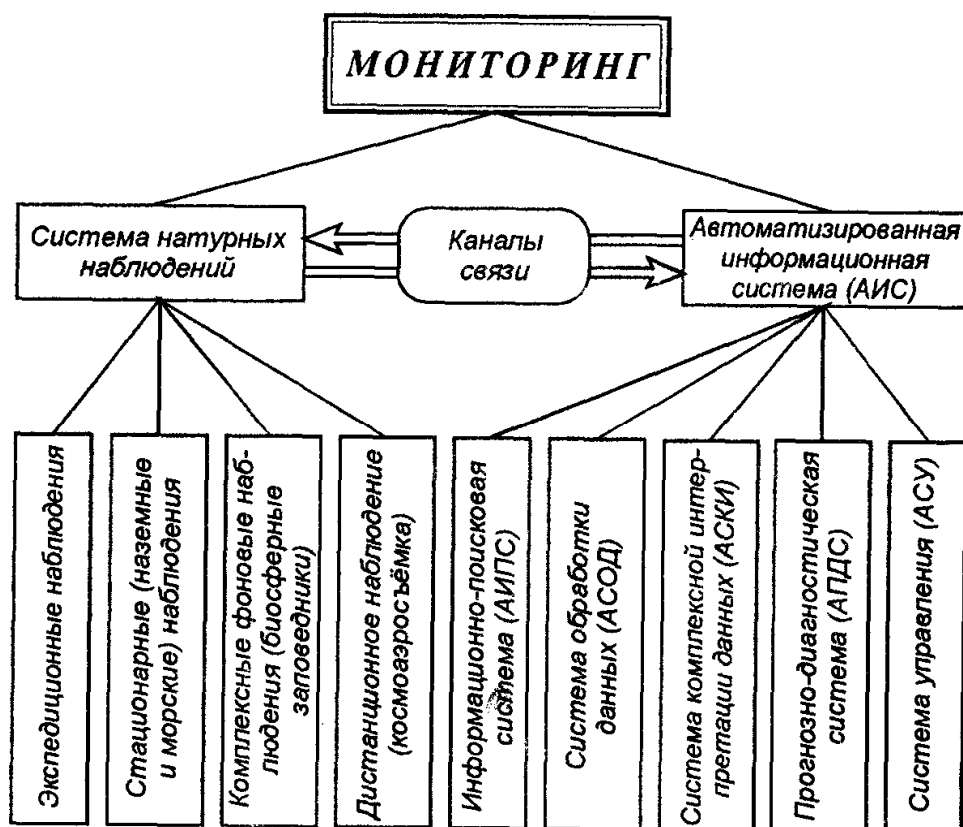


Рис. 21.6. Схема мониторинга

В состав мониторинга входят:

- наблюдение за изменением качества окружающей среды, факторами, воздействующими на окружающую среду;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз изменения качества среды.

Наблюдения осуществляются по физическим, химическим и биологическим показателям. Перспективны интегрированные показатели состояния окружающей среды.

В систему экологических наблюдений входит определение показателей опасного загрязнения среды техногенного происхождения, например, соединений тяжелых металлов, газовых загрязнителей и т. д.

Выделяют глобальный, национальный, региональный и локальный мониторинга.

Глобальный (биосферный) мониторинг осуществляется на основе международного сотрудничества, позволяет оценить современное состояние всей природной системы Земли. Наблюдение ведут базовые станции в различных регионах планеты (30—40 сухопутных и более 10 океанических). Нередко они располагаются в биосферных заповедниках.

Национальный мониторинг осуществляется в пределах государства специально созданными органами.

Региональный мониторинг осуществляется за счет станций системы, куда

поступает информация в пределах крупных районов, интенсивно осваиваемых народным хозяйством, а следовательно, подверженных антропогенному воздействию.

К *локальному* мониторингу относятся наблюдения за воздушной средой различных зон города, промышленных и сельскохозяйственных районов и отдельных предприятий.

Локальный мониторинг осуществляется с помощью стационарных, передвижных или подфакельных постов. Такая система имеется в большинстве крупных городов России. Так, в г. Кургане мониторинг атмосферного воздуха осуществляется на пяти постах.

И. П. Герасимов (1981) подразделяет систему наземного мониторинга окружающей среды на блоки, имеющие свои задачи и базу обеспечения (табл. 21.2).

Таблица 21.2

**Система наземного мониторинга окружающей среды
(по И. П. Герасимову, 1981 г.)**

Блок мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели	Службы и опорные базы
Биологический (санитарный)	Приземный слой воздуха Поверхностные и грунтовые воды Промышленные и бытовые стоки и выбросы Радиоактивные излучения	Содержание токсических веществ Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.) Степень радиоизлучения	Гидрометеорологическая, водохозяйственная, санитарно-эпидемиологическая
Геосистемный (хозяйственный)	Исчезающие виды животных и растений Природные экосистемы Агроэкосистемы	Функциональная структура природных экосистем и ее нарушения Популяционное состояние растений и животных Урожайность сельскохозяйственных культур	
Биосферный (глобальный)	Лесные экосистемы Атмосфера (тропосфера) и озоновый экран Гидросфера Растительный и почвенный покров, животное население	Продуктивность насаждений Радиационный баланс, тепловой перегрев, газовый состав и запыление. Загрязнение больших рек и водоемов; водные бассейны, круговороты на обширных водосборах и континентах Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные балансы СО и О ₂ . Крупномасштабные круговороты веществ	Международные биосферные станции

Биологический, или *биоэкологический* (санитарно-гигиенический) блок мониторинга осуществляет постоянное наблюдение за состоянием среды и ее влияния на здоровье человека. Значение этого блока мониторинга трудно переоценить. Нередко люди и не представляют, какой опасности они подвергают

свое здоровье, проживая в той или иной местности. Сравнение показателей некоторых болезней на различных территориях дает возможность установить, в какой степени благоприятны или неблагоприятны условия для жизни и деятельности человека.

Геосистемный (геоэкологический, хозяйственный) блок мониторинга включает наблюдение за изменением природных геосистем и превращением их в природно-технические. Практика показывает, что прогнозы по созданию оптимальных природно-технических систем, в пределах которых может жить и работать человек без ущерба для своего здоровья, удастся получить в результате тщательного изучения механизмов превращения природных геосистем в природно-технические.

Биосферный (глобальный) блок мониторинга охватывает наблюдения за параметрами геосферы в глобальном масштабе. Это наиболее сложная система наблюдений, которая позволяет прогнозировать изменения качества окружающей человека среды в глобальном масштабе. В качестве примера можно привести прогнозы по потеплению климата из-за возникновения «парникового эффекта» и его последствия для природы планеты. Другой пример. Концепция «ядерной зимы» как результата атомной войны — яркое подтверждение необходимости тщательного изучения и учета всех прогнозов по изменению природы Земли при проведении, в частности, международной политики. Людей от всеобщего самоубийства могут остановить знания. Таким образом, рациональное природопользование возможно при наличии и правильном использовании информации, полученной системой экологического мониторинга.

21.4. Оценка качества окружающей среды

Важным направлением мониторинговых исследований является оценка качества окружающей среды.

Качество окружающей среды — это степень соответствия природных условий физиологическим возможностям человека. Различают окружающую природную среду здоровую, или комфортную, при которой здоровье у человека в норме, и нездоровую, при которой нарушается состояние здоровья. Когда при взаимодействии человека со средой наблюдаются необратимые изменения состояния здоровья, то такая среда называется *экстремальной*. Отсюда следует, что для сохранения здоровья населения нашей страны необходимо следить за качеством окружающей среды. Для этого разработаны научные оценки качества окружающей среды, которые называются *стандартами качества окружающей среды*. Они подразделяются на *экологические* и *производственно-хозяйственные*.

Экологические стандарты устанавливают предельно допустимые нормы антропогенного воздействия на окружающую среду, превышение которых несет опасность здоровью человека, губительно для растительности и животных. Данные нормы устанавливаются в виде *предельно допустимых концентраций* загрязняющих веществ (ПДК) и *предельно допустимых уровней* вредного физического воздействия (ПДУ).

ПДК— это количество вредного вещества в окружающей среде, отнесенное к массе или объему ее конкретного компонента, которое при постоянном контакте или при воздействии в отдельный промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства. 665

При определении ПДК, подчеркивают Т.А. Акимова, В.В. Хаскин (1994), учитывается не только степень влияния загрязнителей на здоровье человека, а также и воздействие данных загрязнителей на природные сообщества в целом. ПДК с каждым годом все больше устанавливаются для веществ в воздухе, воде, почве (рис. 21.7).

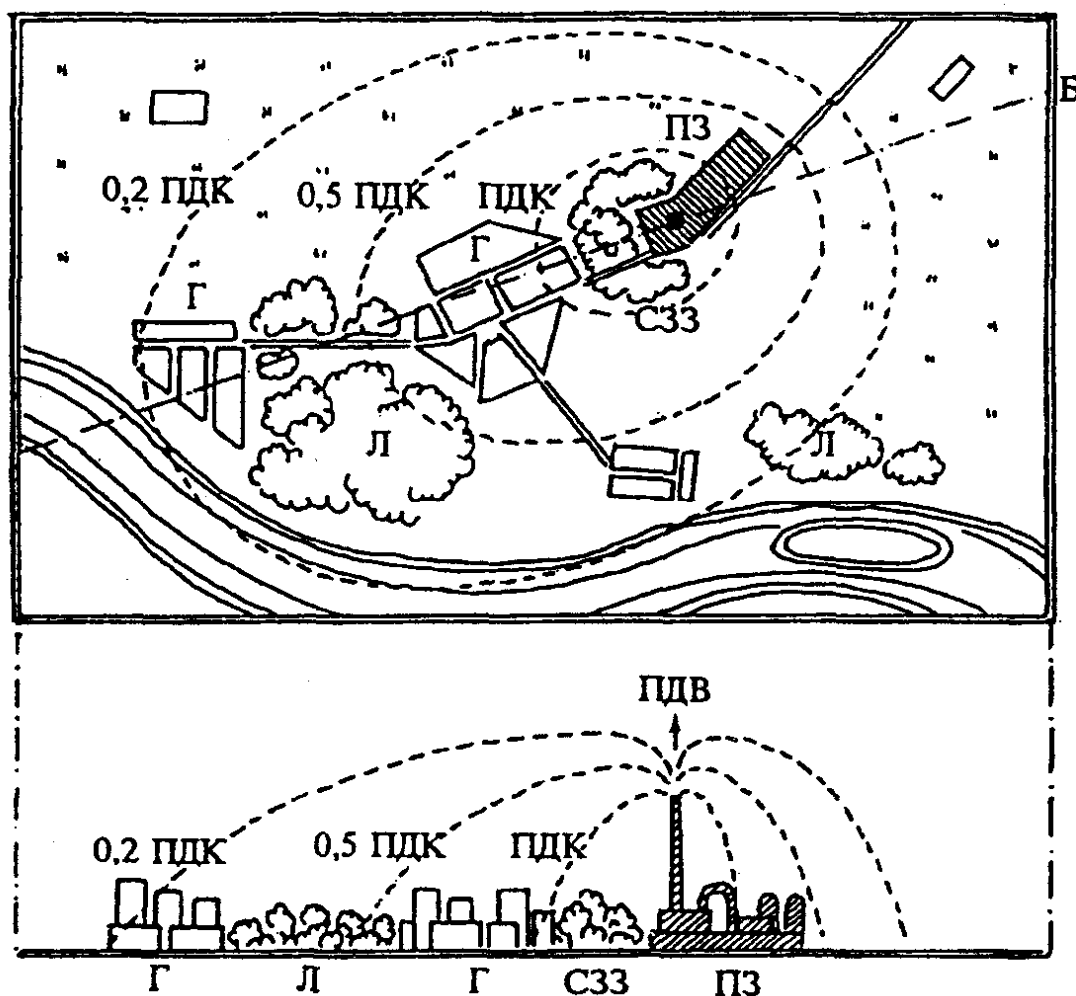


Рис. 21.7. Схема зоны загрязнения атмосферного воздуха в районе мощного промышленного источника (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994):

Верхняя часть — план-схема территории, нижняя часть — «профиль» территории по линии АБ. ПЗ — промышленная зона с источником выбросов; Г — районы города; Л — лесопарковые насаждения; СЗЗ — санитарно-защитная зона. Пунктиром обозначены профили рассеяния и выпадения выбросов и соответствующие изолинии концентрации загрязнителей в приземном слое воздуха. Отображена ситуация, когда благодаря соблюдению ПДВ в жилой зоне города не превышает ПДК

Так, в настоящее время разработаны ПДК для 200 загрязняющих веществ воздушной и более 600 водной среды.

Предельно допустимые уровни вредного физического воздействия (ПДУ) устанавливаются, как правило, для шумового и электромагнитного загрязнения.

Производственно-хозяйственные стандарты качества окружающей среды регламентируют экологически безопасный режим работы производственного, коммунально-бытового и других объектов. К данному виду стандартов качества окружающей среды относятся *предельно допустимый выброс* загрязняющих веществ в окружающую среду (ПДВ) и *предельно допустимый сток* (ПДС) загрязняющих веществ в водоемы конкретными источниками (предприятиями) той или иной территории.

Около 2 млн т, не считая минеральных удобрений, составляет общее количество веществ, ежегодно попадающих в биосферу. Меньше предельно допустимой может быть концентрация каждого из этих веществ, но совместное их присутствие вызывает такой же эффект, как и при их содержании, превышающем ПДК. Это явление называется *эффектом суммации действия*. Таким эффектом, например, обладают следующие сочетания вредных веществ: ацетон — фенол, сернистый газ — фенол, сернистый газ — сероводород и др. При совместном содержании в воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией действия, необходимо соблюдать следующее условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1 \quad (21.1)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n — фактические концентрации вредных веществ в окружающей среде;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ — предельно допустимые концентрации этих вредных веществ в окружающей среде.

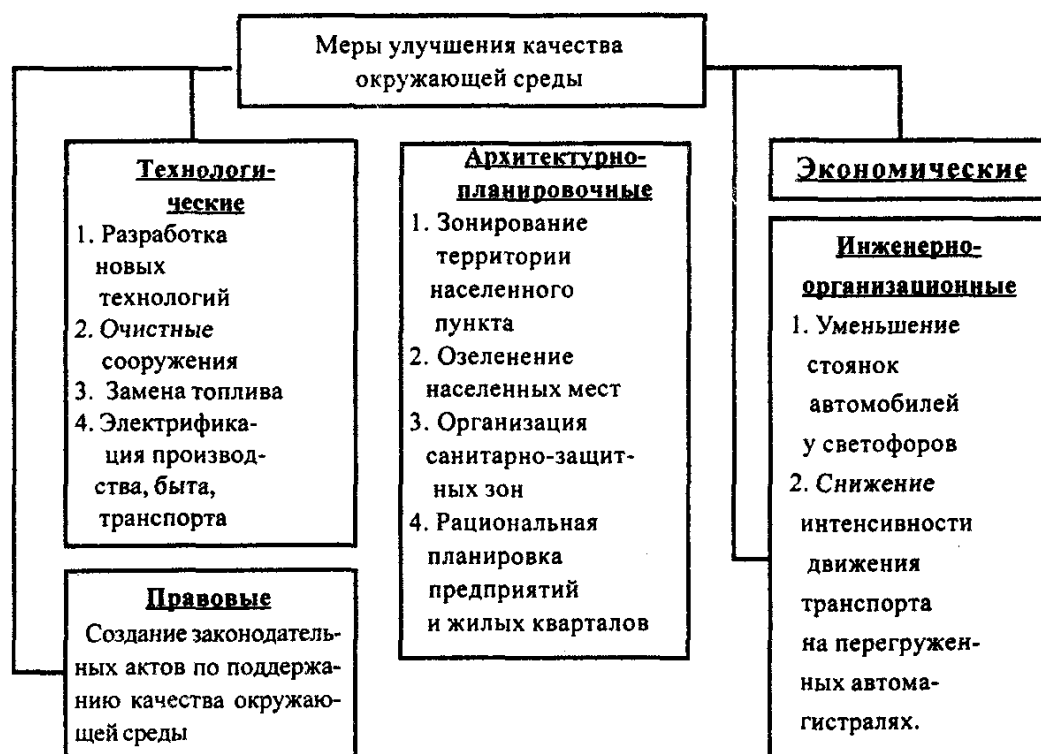


Рис. 21.8. Меры улучшения качества окружающей среды

Выбросы становятся опасными для здоровья человека, если при расчете сумма будет больше единицы.

Меры по улучшению качества окружающей среды разрабатываются на каждом предприятии, в каждом городе или поселке. Их можно объединить в следующие группы (рис. 21.8): технологические, архитектурно-планировочные, инженерно-организационные, правовые, экономические мероприятия.

Контроль за качеством окружающей среды может проводиться по схеме, представленной на рис. 21.9.

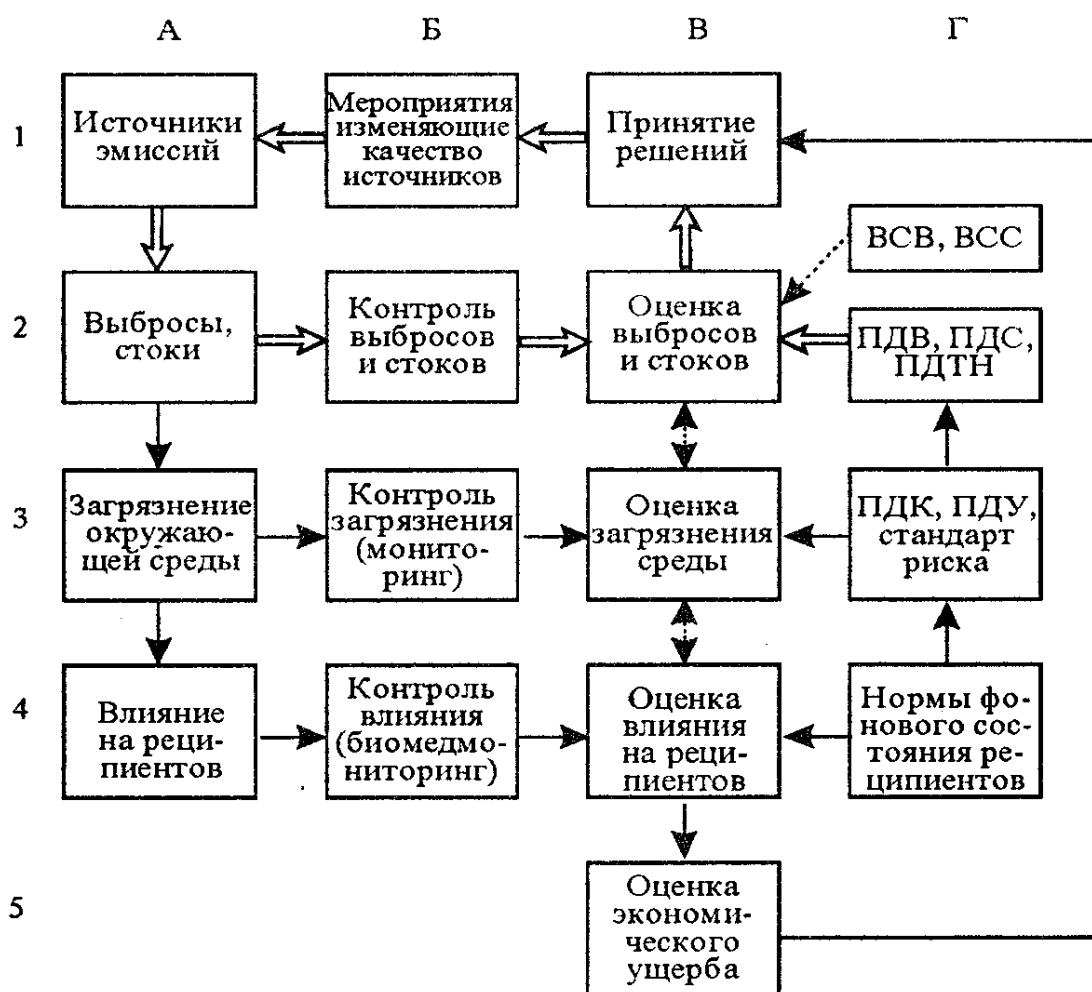


Рис. 21.9. Схема управления загрязнением окружающей среды (по Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину, 1994):

1—5 — этапы воздействия и откликов; А — уровень процессов; Б — уровень контроля и коррекции; В — уровень оценок и принятия решений; Г — уровень нормативов. Минимальный контур практического регулирования обозначен двойными стрелками

Обращается внимание на следующие обстоятельства. Если для данного территориально-производственного комплекса определены предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН), суммарные и дифференцированные по источникам ПДВ и ПДС, то контур регулирования сравнительно простой. Главная обратная

связь для принятия решений определяется оценкой выбросов. В том же случае, когда строгая оценка не произведена и используются временно согласованные нормативы, то задача усложняется, относительно большое значение для принятия решений приобретает оценка экологического ущерба.

Следует иметь в виду и то, что принятие решений не ограничивает мероприятия только воздействиями на технологические процессы или средства очистки; которые должны уменьшить интенсивность и опасность эмиссии. Могут быть и другие варианты: перераспределение и перемещение мощности источников, замена технологии, увеличение санитарно-защитной зоны, отселение людей из зоны активного влияния источника и т. д. В целом из схемы управления качеством окружающей среды следует, что главная обратная связь в контуре принятия природоохранных решений определяется блоком оценок воздействия. Одной из центральных процедур контроля экологической регламентации является оценка воздействий хозяйственной деятельности на окружающую среду.

21.5. Нормирование загрязняющих веществ в окружающей среде

Определяющее значение для контроля и управления качеством окружающей среды имеют гигиенические нормативы, направленные в первую очередь на профилактику неблагоприятного воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека.

Санитарно-гигиенические нормативы — это устанавливаемые в законодательном порядке, обязательные для исполнения всеми ведомствами, органами и организациями допустимые уровни содержания химических и других соединений в объектах окружающей среды.

Схема гигиенического нормирования содержания химических веществ в объектах окружающей среды по В.Ф. Протасову, А.В. Молчанову (1995) представлена на рис. 21.10.

Норматив качества окружающей среды носит конкретный характер и основан на определенных признаках. К ним относятся:

- объект защиты, например, древесные растения, технологическое оборудование, человек и т. д.;
- среда, в которой нормируется и контролируется содержание вещества (воздух, вода, почва, биосубстраты человека (кровь, моча, волосы и т. д.);
- критерий вредности (появление заболеваний в разных формах у человека, включая потомство; снижение продуктивности, пищевой ценности растений; выход из строя технологического оборудования и т. д.);
- регламентируемая временная характеристика (воздействие в течение всей жизни человека, в течение его рабочего стажа, в короткий промежуток времени, например, в аварийных ситуациях);
- последствия или «цена» норматива, к которым может привести отсутствие или превышение допустимого уровня.

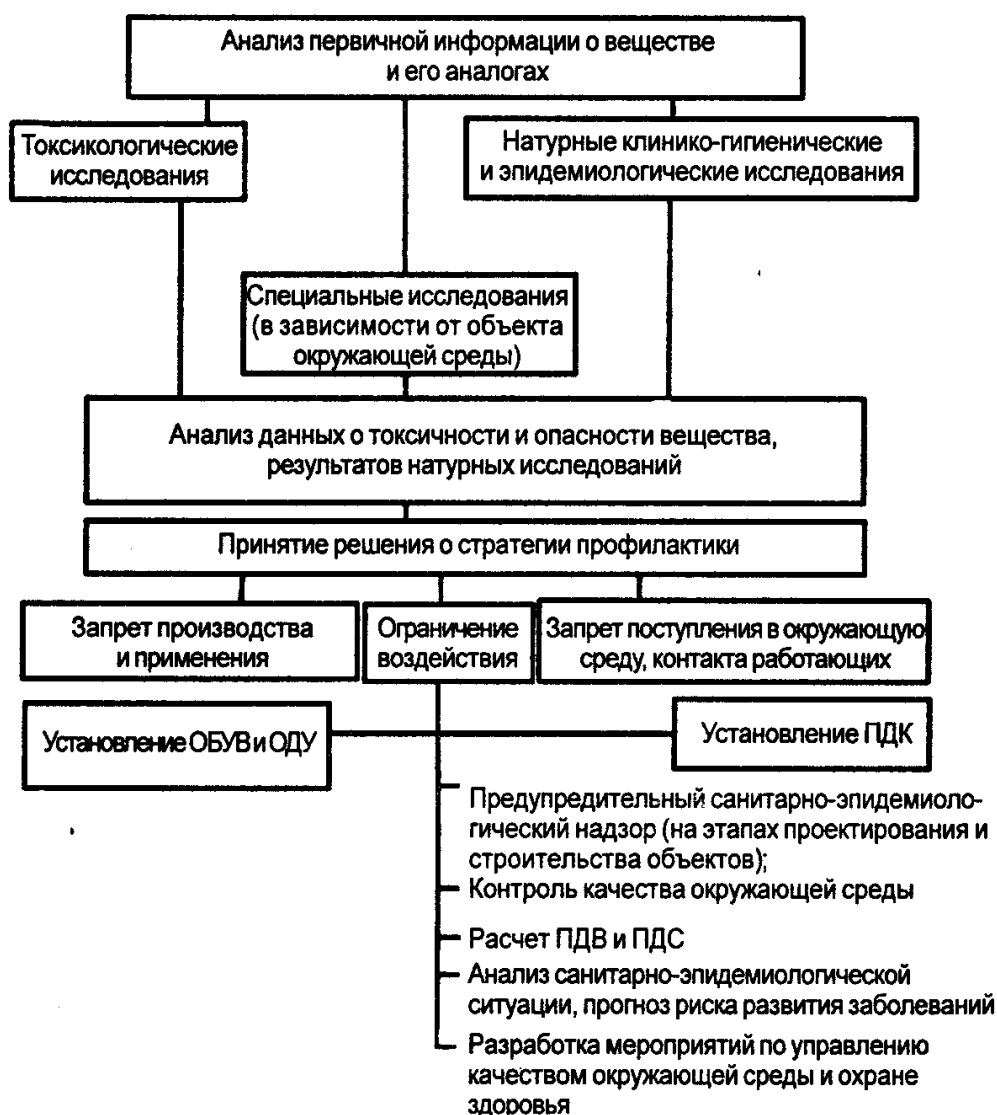


Рис. 21.10. Схема гигиенического нормирования содержания химических веществ в объектах окружающей среды (по В.Ф. Протасову, А.В. Молчанову, 1995)

Санитарно-гигиенические нормативы в течение длительного времени оставались единственными критериями качества окружающей среды. В настоящее время наряду с гигиеническими ПДК нормируются содержание вредных веществ в кормах, химический состав ирригационных вод, устанавливаются ПДК химических соединений в сточных водах, подаваемых на сооружения по биологической очистке, разрабатываются ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Разработаны ПДК химических соединений в воздухе особо охраняемых территорий, например, для усадьбы-заповедника «Ясная Поляна», предложены ПДК для защиты древесных растений от загрязнения.

Однако до настоящего времени гигиенические ПДК являются основным критерием качества окружающей среды и используются для оценки опасности экологической обстановки, расчета предельно допустимых выбросов и сбросов (ПДВ и ПДС), установления связи загрязнения окружающей среды с риском

развития нарушения здоровья населения.

Гигиенические нормативы в связи со специфичностью и изменчивостью физико-химических свойств атмосферного воздуха, воды, почвы, пищевых продуктов растительного и животного происхождения, а также особенностями их воздействия на организм устанавливаются отдельно для каждого объекта или используется принцип разделения объектов санитарной охраны. Воздействие химических соединений может быть не только прямым, но и косвенным, например вследствие отказа населения от контролируемого водоисточника, ограничения водопользования и т. д. Следовательно, при нормировании химических соединений в тех или иных объектах должны учитываться различные виды неблагоприятных воздействий: влияние на органолептические показатели (внешний вид, запах, привкус и др.), рефлекторное действие, влияние на общесанитарные показатели (изменение численности сапрофитной микрофлоры, ее состав и др.), возможность миграции из одной среды в другую (переход вещества или его метаболита из почвы в воду, воздух, растения), санитарно-бытовой (изменение прозрачности атмосферы, бытовых условий проживания и т. д.), санитарно-токсикологический.

Установление окончательной величины ПДК проводится на основе принципа лимитирующего показателя вредности, в соответствии с которым величина норматива выбирается на уровне меньшей из значений концентрации, установленных по различным критериям вредности или используется принцип учета «слабого звена».

В реальных же условиях человек подвергается не изолированному воздействию какого-либо вещества, а сложному многофакторному воздействию. Отсюда необходимость учета всего многообразия воздействий отражена в принципе комплексного (единого, интегрального) гигиенического нормирования. Особенности комбинированного действия в настоящее время учитываются при гигиеническом нормировании вредных веществ во всех средах. Например, для атмосферного воздуха населенных мест установлены 56 коэффициентов комбинированного действия (для 36 бинарных смесей, 20 смесей из 3—5 компонентов).

21.6. Экологическая аттестация и паспортизация

Экологическая аттестация и паспортизация служат для документального описания эколого-экономических характеристик объектов природоохранной деятельности: территорий, территориально-производственных комплексов и хозяйственных объектов. Для этих целей разработаны формы экологического паспорта предприятия (производственного объединения), территории и методики проведения экологической паспортизации (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 1994).

Экологический паспорт предприятия разрабатывается для учета всех видов техногенных воздействий на окружающую среду и сравнительного анализа вклада различных производственных процессов в общую природоемкость. Он содержит нормативно-справочную, фактографическую и отчетную информацию о

природоемкости производства.

В экологический паспорт вносится, периодически корректируется и обновляется информация об исходных данных для расчета материально-энергетических балансов, нормативы ресурсопотребления, производственных циклов. Важными разделами паспорта являются результаты инвентаризации отходов производства, где дается описание условий образования и характеристики всех источников газовых выбросов, сточных вод, твердых и жидких отходов, приводятся сведения о текущей экономике предприятия, о планируемых и фактических затратах на мероприятия по достижению нормативных ПДВ и ПДС, а также и о других природоохранных мерах.

Паспорт дает возможность осуществить экологическую аттестацию того или иного хозяйственного объекта по признакам его соответствия требованиям предельно допустимой техногенной нагрузки и экологической техноемкости территории.

Экологический паспорт территории составляется с целью информационного обеспечения широкого круга пользователей информацией для решения научных, организационных и практических задач, которые направлены на рациональное природопользование. Дается систематизированная сводка данных о современном состоянии природных комплексов территории и воздействующих на них антропогенных факторов. Данный паспорт рассчитан на территорию административного района, но может использоваться и для других территориальных образований. В качестве примера приведем экологический паспорт территории, разработанный в 1990 г. НИИ охраны природы и заповедного дела, предусматривающий документальную фиксацию более 2,5 тыс. различных показателей по основным разделам:

- общие сведения (административное деление, население территории, землеустройство);

- природные условия (географическая характеристика, геологическое строение, климат, поверхностные и подземные воды, почвы, растительный покров и животный мир);

- хозяйственная структура (специализация хозяйства, промышленность, энергетика и теплоснабжение, горнодобывающая промышленность, транспорт и пути сообщения, водное хозяйство, коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, лесное хозяйство, охотничье хозяйство, рыбное хозяйство);

- загрязнение природной среды (загрязнение атмосферного воздуха, почв, природных вод, сельхозпродукции, заболеваемость населения, животных и растений в результате загрязнения природной среды);

- охрана природных комплексов (охраняемые природные территории, генофонд, зоны рекреации).

К паспорту прилагается атлас тематических карт и составляется общая экологическая карта территории. В конце документа дается заключение об экологической ситуации, что фактически является экологической аттестацией территории.

21.7. Экологическая экспертиза

При осуществлении мероприятий, связанных с воздействием на окружающую среду, природные экосистемы, здоровье людей, необходимо заранее, на уровне предпроектной или проектной документации исключить возможные отрицательные, негативные последствия путем проведения экологической экспертизы. Под *экологической экспертизой* следует понимать систему комплексной оценки всех возможных экологических и социально-экономических последствий осуществления проектов, функционирования народнохозяйственных объектов, принятия решений, направленных на предотвращение их отрицательного влияния на окружающую среду и на решение намеченных задач с наименьшей затратой ресурсов и минимальными последствиями.

Объектами экологической экспертизы являются:

- все виды предплановой и предпроектной документации по развитию и размещению производственных сил страны и отраслей хозяйства всех субъектов федерации;

- технико-экономические расчеты (обоснования), проекты строительства, реконструкции, расширения, технического перевооружения и ликвидации хозяйственных объектов и комплексов;

- документация по созданию новой техники, технологии, материалов и веществ;

- проекты нормативно-правовой, инструктивно-методической и нормативно-технической документации, регламентирующей природопользование при ведении хозяйственной деятельности;

- материалы, характеризующие экологическую ситуацию в регионе, которая формируется под воздействием различных видов текущей хозяйственной деятельности.

Цель экологической экспертизы:

- обеспечение научно обоснованного определения соответствия проектных решений современным экологическим требованиям перед их утверждением в компетентных государственных органах;

- предупреждение возможных негативных воздействий на экосистему планируемых, проектируемых и функционирующих объектов в процессе их реализации;

- поддержание динамичного природного равновесия и благоприятного состояния окружающей среды при реализации народнохозяйственных планов.

Независимо от объекта экологической экспертизы она должна давать исчерпывающие данные (ответы) относительно его влияния:

- на состав и режимы экологических фактов в аспекте закона толерантности по отношению к человеку и другим организмам;

- экологические ниши живых организмов (в том числе и человека), обитающих исторически или временно в пределах зоны воздействия создаваемого или действующего объекта;

- состав и структуру популяций организмов, ценных в хозяйственном,

научном, историческом, эстетическом отношениях;

- структуру, свойства и продукцию экологических систем;
- состояние ландшафтов и природных комплексов;
- функционирование круговоротов вещества и возможные последствия на глобальном уровне.

Выполнение вышеуказанного достигается в ходе решения следующих *задач*:

— проверки и оценки проектных материалов в соответствии с требованиями статей Конституции Российской Федерации, Основ законодательства Российской Федерации о недрах, земельного, водного, лесного и иных законодательств, законов об охране атмосферного воздуха, животного мира, других правовых актов об охране природы и рациональном использовании природных ресурсов, о планировании, проектировании и капитальном строительстве;

— осуществления экспертизы с позиций государственной экологической политики с тем, чтобы к реализации проектов возводимые народнохозяйственные объекты были не только технически, но и экологически передовыми и исключали любую возможность нарушения экологического равновесия;

— установления экологических свойств проектных материалов и определения степени учета и отражения в них закономерностей взаимодействия антропогенных и конкретных экологических подсистем в общей системе общего — природа на основе использования знаний экологических наук;

— установление объективных данных о возможности реализации экспортируемых объектов в конкретных природных условиях;

— подготовка заключений, содержащих выводы о степени экологичности материалов и рекомендации оптимальных вариантов природоохранных решений с учетом особенностей конкретной экосистемы.

В процессе экспертизы детально и всесторонне изучают экологическое содержание проектов путем анализа, синтеза, сравнения, наблюдения, описания, абстрагирования при строгом соблюдении требований действующего законодательства.

Критериями оценки выступают требования правовых норм, принципы охраны природы, природоохранные приоритеты, экологические императивы, стандарты по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов, строительные нормы и правила, санитарно-гигиенические нормативы, основные показатели утверждений предплановой, проектно-планировочной и проектно-сметной документации.

Оценочными критериями из ненормативных показателей являются обобщенные показатели природных особенностей местности, направления ветров, туманов, штилей, воздушных инверсий, рельефа и др., используя которые, эксперты могут дать объективную оценку работ.

Эколого-экспертная деятельность должна содержать элементы экологического прогнозирования не только на проектный период, но и на перспективу — в форме научно обоснованного предвидения, направленного на сохранение оптимального режима экосистемы *общество — природа*.

Эксперты обязаны обеспечивать соблюдение в проектах нормативных

требований по очистке вод, включая промышленные и бытовые стоки, защите атмосферы от вредных выбросов, утилизации, нейтрализации и вторичному использованию хозяйственно-бытовых и промышленных отходов, рациональной разработке полезных ископаемых и рекультивации земель.

Эколого-экспертный процесс состоит из трех основных этапов: *подготовительного*, или проверки наличия необходимых реквизитов, представляемых проектных материалов и их соответствия действующему законодательству; *основного*, или аналитической обработки данных по объектам экспертизы; *заключительного*, или обобщения и оценки данных и составления акта экспертизы.

Правовой основой экологической экспертизы является законодательство Российской Федерации и субъектов Федерации (республики, края, области в составе России), *нормативной базой* — весь комплекс существующих природоохранных и технических стандартов, ГОСТов, строительных норм и правил, санитарно-гигиенические и экологические нормативы.

В заключение еще раз обратим внимание на то, что решение экологических проблем зависит не только от ученых, но и политиков, производителей, от разумного поведения всего общества. Роль экологии — помочь осознать, чем грозит незнание или пренебрежение этими проблемами, изучая природные сообщества, найти пути их сохранения для настоящего и будущего нашей планеты.

ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ *

Абиотические факторы — комплекс условий неорганической среды, влияющих на организм.

Автотрофы — организмы, берущие нужные им для жизни химические элементы из окружающей их косной материи и не требующие для построения своего тела готовых органических соединений другого организма. Основным источником энергии, используемый автотрофами, — Солнце.

Аграрный ландшафт — экосистема, сформировавшаяся в результате преобразования ландшафта.

Агрессия — форма связей, характеризующаяся истреблением особей своего вида.

Агролесомелиорация — лесохозяйственные мероприятия, направленные на улучшение почвенно-гидрологических и климатических условий региона (ландшафта).

Агростепь — искусственный травяной биогеоценоз, созданный с целью рекультивации нарушенных степей.

Агросфера — глобальная система, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека.

Агроценозы — биоценозы на землях сельскохозяйственного пользования.

Агроэкосистемы — экосистемы, измененные человеком в процессе сельскохозяйственного производства.

Адаптация — приспособление организмов к среде.

Аккреция — образование Солнечной системы из облака разреженного газа и пыли.

Аллелопатия — химические взаимовлияния между растениями в сообществе, оказывающее на организмы либо токсическое, либо стимулирующее действие.

Альтернативное земледелие — концепция, новый подход к земледелию, группа методов, этика отношения к земле.

Аменсализм — тип межвидовых взаимоотношений, при котором один вид подавляет существование другого вида, не испытывая противодействия.

Анемохория — расселение организмов с помощью воздушных потоков.

Антропогенный ландшафт — ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека настолько, что изменена связь природных (экологических) компонентов в степени, ведущей к сложению нового (по сравнению с ранее существовавшим на этом месте) природного комплекса.

Антропосистема — человечество как развивающееся целое, включающее людей как биологический вид, производительные силы и производственные

* Многие термины и понятия в области экологии разными авторами понимаются неодинаково, поэтому приведенные формулировки и определения терминов и понятий не могут рассматриваться как строго нормативные.

отношения общества.

Ареал — часть земной поверхности, в пределах которой распространен тот или иной вид.

Атмосфера — газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли.

Ааутэкология — раздел экологии, изучающий взаимоотношения особей (организмов) с окружающей средой.

Аэробносфера — область атмосферы, населенная аэробнонтами, субстратом жизни которых служит влага воздуха.

Аэропланктон — организмы, пассивно переносимые потоками воздуха.

Бенталь — дно океана как среда обитания донных организмов.

Бентос — совокупность растений (фитобентос) и животных (зоо-бентос), ведущих донный образ жизни.

Биогенное вещество — создается и перерабатывается жизнью, совокупностями живых организмов, например нефть, каменный уголь, известняки и др.

Биогеохимический круговорот (биогеохимический цикл) — обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии которого проходят внутри экосистемы.

Биокосное вещество — создается в биосфере одновременно живыми организмами и косными процессами, представляя системы динамического равновесия тех и других (почва, кора выветривания, природные воды, свойства которых зависят от деятельности на Земле живого вещества).

Биом — совокупность сообществ организмов (экосистем) какой-либо крупной территории, например природной зоны: биом тундры, тайги и т. п.

Биосфера — своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

Биота — совокупность видов организмов какой-либо крупной территории, например биота тундры и т. д.

Биотические факторы — совокупность влияния жизнедеятельности одних организмов на другие.

Биотический (биологический) круговорот — циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами.

Биотоп — однородный в экологическом отношении участок земной поверхности (территории или акватории), занятый одним биоценозом.

Биоценоз — совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию, отличающуюся от других соседних территорий по химическому составу почв, вод, а также по ряду физических показателей (высота над уровнем моря, величина солнечного облучения и т. д.).

Валовая первичная продуктивность (ВПП) — скорость, с которой растения накапливают химическую энергию.

Воды сточные — воды, используемые на бытовые, промышленные и

сельскохозяйственные нужды или прошедшие через какую-то загрязненную территорию.

Восстановление природных ресурсов — комплекс мероприятий, направленных на получение природных ресурсов в ранее естественно наблюдавшемся количестве с помощью искусственных мер, после периода полного или частичного истощения этих ресурсов в результате антропогенного воздействия.

Галлофилы — животные, приспособившиеся к жизни на засоленных почвах.

Гелиофиты — световые виды растений, обитающие на открытых местах с хорошей освещенностью.

Геобионты — животные, постоянно обитающие в почве.

Геобиосфера — верхняя часть земной коры (литосфера), населенная геобионтами.

Географическая среда — широкое понятие, объединяющее природную и окружающую среды.

Геоксены — животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища.

Геофилизация — погружение базальной (нижней) части растения в почву.

Геофилы — животные, часть цикла развития которых (чаще одна из фаз) обязательно проходит в почве.

Гетеротипические реакции — взаимодействия между особями разных видов.

Гетеротрофы — организмы, нуждающиеся для своего питания в органическом веществе, образованном другими организмами.

Гетерофилия — различия строения надводных и подводных листьев у одного и того же растения.

Гигрофиты — растения, обитающие во влажной среде, не переносящие водного дефицита и обладающие невысокой засухоустойчивостью.

Гидробиосфера — глобальный мир воды (водная оболочка Земли без подземных вод), населенный гидробионтами.

Гидросфера — совокупность всех вод Земли: материковых (глубинных, почвенных, поверхностных), океанических, атмосферных.

Гидрофиты — водные растения, прикрепленные к грунту и погруженные в воду только нижними своими частями.

Гомеостаз — динамическое равновесие процессов, протекающих в организме, популяции, биоценозе, экосистеме.

Гомотипические реакции — взаимодействия между особями одного и того же вида.

Гумус — органическое вещество почвы, состоящее из отмерших остатков растений и животных.

Гуттация — выделение воды у растений через специальные выделительные клетки, расположенные по краю или на острие листа.

Демэкология — раздел экологии, изучающий взаимоотношения популяции, вида с окружающей средой.

Детрит — мелкие частицы остатков организмов и их выделений.

Детритные (сапрофитные) пищевые цепи — пищевые цепи, начинающиеся с

отмерших остатков растений, трупов животных.

Детритофаги — организмы, питающиеся детритом. **Доминанты** — преобладающие в фитоценозах виды растений.

Емкость среды — количественная характеристика совокупности условий, ограничивающих рост численности популяции.

Живое вещество — по В. И. Вернадскому, это совокупность всех живых организмов современной биосферы.

Животный мир — совокупность сообществ животных какой-либо территории.

Жизненная форма организма — морфологический тип приспособления растения или животного к основным факторам местообитания и определенному образу жизни.

Загрязнение окружающей среды — любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы.

Заказники — участки территории или акватории, на которых в течение ряда лет или постоянно в определенные сезоны или круглогодично сохраняются отдельные виды животных, растений или часть природного комплекса.

Закон константности количества живого вещества биосферы (В. И. Вернадский): количество живого вещества (биомассы всех организмов) биосферы для данной геологической эпохи постоянно.

Закон минимума (Ю. Либих) — жизненность организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Ю. Либих формулировал данный закон следующим образом: "Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени".

Закон необратимости эволюции (Л. Полло) — эволюция необратима; организм (популяция, вид) не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков.

Закон толерантности (В. Шелфорд): процветание организма ограничено зонами максимума и минимума определенных экологических факторов. Между ними располагается зона оптимума. Каждый вид характеризуется своей *толерантностью* — способностью переносить отклонения экологических факторов от оптимальных.

Законы экологии (Б. Коммонер) — 1. Все связано со всем; 2. Все должно куда-то деваться; 3. Природа знает лучше; 4. Ничто не дается даром.

Заповедники — участки суши и водных пространств, изъятые в установленном порядке из какого бы то ни было хозяйственного использования и надлежащим образом охраняемые.

Здоровье человека — состояние полного физического, духовного и социального благополучия.

Зона экологического бедствия — территории с очень сильным и устойчивым

загрязнением (содержание загрязняющих веществ более чем в 10 раз выше ПДК), разрушительной потерей продуктивности, необратимой трансформацией экосистем, практически исключаяющей их из хозяйственного использования. Деградация земель превышает 50% территории.

Зона экологического кризиса — территории с сильным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 5—10 раз выше ПДК), резким снижением продуктивности экосистем. Деградация земель проявляется на 20—50% территории.

Зона экологического риска — территории с повышенным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 2—5 раз выше ПДК), заметным снижением продуктивности экосистем. Деградация земель захватывает 5—20% территории.

Зоогамия — опыление растений млекопитающими.

Ионизирующие излучения — излучения с очень высокой энергией, которые способны выбивать электроны из атомов и присоединять их к другим атомам с образованием пар положительных и отрицательных ионов.

Каннибализм — пожирание особей своего вида. **Качество среды** — степень соответствия природных условий потребностям людей или других живых организмов.

"Квартиранство" — использование одними видами других (их тел или их жилищ) в качестве убежища или жилища.

Кислотные осадки — любые атмосферные осадки (дожди, туманы, снег), кислотность которых выше нормальной.

Климакс — относительно стабильное состояние биоценоза (экосистемы).

Комменсализм — взаимоотношения организмов, при которых один из партнеров получает пользу, не нанося ущерб другому.

Конвергенция — внешнее сходство, возникающее у представителей разных неродственных групп и видов в результате сходного образа жизни.

Конкуренция — каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное действие. Виды конкурируют в поисках пищи, укрытий, мест кладки яиц и т. п.

Консоргент — центральный член или ядро *консорции*.

Консорты — группа организмов, связанных с ядром *консорции*, с ее *консоргентом*.

Консорция — совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически связана с центральным видом — автотрофным организмом.

Консументы, или фаготрофы, — гетеротрофные организмы, главным образом животные, питающиеся другими организмами или частицами органического вещества.

Косное вещество — совокупность тех веществ в биосфере, в образовании которых живые организмы не участвуют.

Криофиты — растения холодных и сухих местообитаний.

Ксерофиты — растения сухих местообитаний, способные переносить значительный недостаток влаги — почвенную и атмосферную засуху.

Ландшафт — имеющий естественные границы участок земной поверхности, в пределах которого все природные компоненты (горные породы, рельеф, воды,

почвы, растительный и животный мир) образуют взаимосвязанное единство.

Литосфера — верхняя "твердая" оболочка Земли, постепенно переходящая с глубиной в сферы с меньшей прочностью вещества. Включает *земную кору* и верхнюю *мантию* Земли.

Литофиты — растения каменистых местообитаний.

Макробиотип (макробиота) — крупные почвенные животные с размерами тела от 2 до 20 мм.

Мегабиотип (мегабиота) — крупные землерои, главным образом из числа млекопитающих.

Мезобиотип (мезобиота) — совокупность сравнительно мелких, легко извлекающихся из почвы подвижных животных (почвенные не-матоды, личинки насекомых, клещи, ногохвостки и др.).

Мезофиты — растения умеренно увлажненных местообитаний.

Микробиотип (микробиота) — почвенные микроорганизмы, составляющие основное звено детритной пищевой цепи, представляют собой как бы промежуточное звено между растительными остатками и почвенными животными.

Моделирование — метод исследования сложных объектов, явлений и процессов путем их упрощенного имитирования (натурного, математического, логического). Основывается на теории подобия (сходства) с объектом-аналогом.

Мозаичность — неоднородность фитоценозов в горизонтальном отношении и расчленение их на более мелкие структуры.

Мониторинг окружающей среды — регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить их состояние и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Мутуализм — симбиотические взаимоотношения, когда оба сожительствающих вида извлекают взаимную пользу.

Нахлебничество — потребление остатков пищи хозяина, например взаимоотношения акул с рыбами-прилипалами.

Национальные парки — участки территории (акватории), выделенные для сохранения природы в эстетических, оздоровительных, научных, культурных и просветительских целях.

Недра — верхняя часть земной коры, в пределах которой осуществляется добыча полезных ископаемых.

Нейтрализм — оба вида независимы и не оказывают друг на друга никакого влияния.

Нектон — совокупность пелагических активно передвигающихся животных, не имеющих непосредственной связи с дном (киты, кальмары, ластоногие, рыбы).

Нитрофилы — растения, требовательные к повышенному содержанию азота в почве.

Ноосфера — сфера разума. Гипотетическая стадия развития *биосферы*, когда разумная деятельность человека станет главным определяющим фактором ее *устойчивого развития*.

Ограничивающий (лимитирующий) фактор — фактор, уровень которого в

качественном или количественном отношении (недостаток или избыток) оказывается близким к пределам выносливости данного организма.

Орнитофилия — опыление растений с помощью птиц.

Охрана окружающей среды — система мер, направленная на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей природной средой, обеспечивающая сохранение и восстановление природных богатств, рациональное использование природных ресурсов, предупреждающая прямое и косвенное вредное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

Памятники природы — отдельные невосполнимые природные объекты, имеющие научное, историческое и культурно-эстетическое значение.

Паразитизм — форма взаимоотношений между видами, при которой организмы одного вида (паразита, потребителя) живут за счет питательных веществ или тканей организма другого вида (хозяина) в течение определенного времени.

Парацеллы — структурные части горизонтального расчленения биоценоза, отличающиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена.

"Парниковый эффект" — разогрев приземного слоя атмосферы, вызванный поглощением длинноволнового (теплого) излучения земной поверхности.

Пастбище — кормовое угодье, используемое для выпаса стад сельскохозяйственных животных.

Патоген — агент, вызывающий патологические процессы в организме.

Пелагиаль — толща воды в океане или море, среда обитания пелагических организмов, *планктона* и *нектона*.

Периодический закон географической зональности (А. А. Григорьев — М. И. Будыко) — со сменой физико-географических поясов Земли аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются.

Пирамида биомасс — графическое изображение соотношения между *продуцентами* и *консументами* разных порядков, выраженное в единицах биомассы.

Пирамида численности (чисел) — графическое изображение соотношения между *продуцентами* и *консументами* разных порядков, выраженное в единицах числа особей.

Пирамида экологическая — графическое изображение соотношения между *продуцентами* и *консументами* разных порядков, выраженное в единицах биомассы (пирамида биомасс), числа особей (пирамида чисел) или заключенной в массе живого вещества энергий (пирамида энергий).

Пирамида энергий — графическое изображение соотношения между *продуцентами* и *консументами* разных порядков, выраженное в единицах заключенной в массе живого вещества энергий.

Пищевая (трофическая) сеть — сплетение пищевых (трофических) цепей в сложном сообществе.

Пищевая (трофическая) цепь — последовательность переноса энергии в экосистеме.

Пищевые связи — механизмы передачи энергии от одного организма к другому.

Планктон — совокупность пелагических организмов, не обладающих способностью к быстрым активным передвижениям. Это мелкие животные — *зоопланктон* и растения — *фитопланктон*, которые не могут противостоять течениям.

Плодородие почвы — способность обеспечивать растения водой, элементами питания, воздухом и этим создавать возможность получения урожая сельскохозяйственных культур.

Погода — непрерывно меняющееся состояние атмосферы у земной поверхности, примерно до высоты 20 км (граница тропосферы).

Полезные ископаемые — горная порода, непосредственно используемая в народном хозяйстве, а также природные минеральные образования, из которых могут быть извлечены минералы, ценные для различных отраслей.

Популяция — элементарная группировка организмов определенного вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности неограниченно длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.

Почва — часть окружающей человека природной среды, возникла в результате сложного взаимодействия атмосферы, гидросферы, литосферы, растительного и животного мира.

Правило Вант-Гоффа — при оптимальных температурах у всех организмов физиологические процессы протекают наиболее интенсивно, что способствует увеличению темпов их роста.

Правило 1% — для биосферы в целом доля возможного потребления чистой первичной продукции (на уровне консументов высших порядков) не превышает 1%.

Правило 10% (правило пирамиды энергий Р. Линдемана) — с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий, в среднем не более 10% энергии.

Правило А.члена — у видов, живущих в более холодном климате, выступающие части тела (хвост, уши и др.) меньше, чем у родственных видов из более теплых мест.

Правило Бергмана — при продвижении на север средние размеры тела в популяциях эндотермных животных увеличиваются.

Правило Глогера — окраска животных в холодном и сухом климате сравнительно светлее, чем в теплом и влажном.

Правило предвращения Алехина — широко распространенные виды растений на юге произрастают на северных склонах, а на севере встречаются только на южных.

Правило Тинеманна — сохранение и расселение видов растений ограничивает устойчивость к неблагоприятным абиотическим воздействиям (холод, жара) репродуктивных органов и незащищенных молодых растений.

Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ

(ПДК) — количество вредного вещества в окружающей среде, отнесенное к массе или объему ее конкретного компонента, которое при постоянном контакте

или при воздействии в отдельный промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

Предельно допустимые выбросы (ПДВ) — максимальный объем выбросов веществ в единицу времени, который не ведет к превышению их ПДК.

Природа — совокупность естественных условий существования человеческого общества, на которую прямо или косвенно воздействует человечество, с которой оно связано в хозяйственной деятельности.

Природная среда — сложное и разнообразное сочетание и взаимодействие абиотических и биотических систем и компонентов литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы в целом.

Природно-ресурсный потенциал — та часть природных ресурсов, которая реально может быть вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества при условии сохранения жизни человека.

Природно-территориальный комплекс (ПТК) — исторически сложившаяся и пространственно обособившаяся единая система, образованная множеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы.

Природно-хозяйственный комплекс (ПХК) — территория, характеризующаяся определенным видом хозяйственной деятельности (сельскохозяйственной, промышленной, селитебной, транспортной, рекреационной и т. д.) и использование природных ресурсов.

Природные блага — совокупность природных ресурсов и природных условий жизни общества, используемая в настоящее время или которая может быть использована в обозримом будущем.

Природные ресурсы (естественные) — природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов.

Природные условия — понятие очень широкое, охватывающее все аспекты природы, о них говорят безотносительно к человеку и его деятельности.

Природопользование — совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению.

Протокооперация — простой тип симбиотических связей. При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т. е. не является непременным условием выживания популяций.

Псаммофиты — растения, приспособленные для жизни на подвижных песках.

Радионуклиды (радиоактивные изотопы) — изотопы элементов, испускающие радиоактивные излучения.

Растительный мир — совокупность сообществ растений какой-либо территории.

Редуценты — гетеротрофные организмы (бактерии, грибы), получающие

энергию путем разложения мертвых тканей или путем поглощения растворенного органического вещества, выделяющегося самопроизвольно, или извлеченного сапрофитами из растений и других организмов.

Рекультивация земель — процесс восстановления нарушенных земель.

Ресурсный цикл — совокупность превращений и пространственных перемещений определенного вещества или группы веществ на всех этапах использования его человеком, включая его влияние, подготовку к эксплуатации, извлечение из природной среды, переработку, превращение и возвращение в природу.

Санитарно-гигиенические нормативы — устанавливаемые в законодательном порядке, обязательные для исполнения всеми ведомствами, органами и организациями допустимые уровни содержания химических и других соединений в объектах окружающей среды.

Сенокос — луг или степь, используемые для заготовки зеленой массы или сена.

Симбиоз — неразделимые взаимопользные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма.

Синузия — структурная часть фитоценоза.

Синэкология — раздел экологии, исследующий взаимоотношения сообществ и экосистем.

"Сотрапезничество" — потребление разных веществ или частей их одного и того же ресурса. Например, взаимоотношения между различными видами почвенных бактерий — сапрофитов, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков, и высшими растениями, потребляющими образовавшиеся при этом минеральные соли.

"Сотрудничество" — оба вида образуют сообщество. Оно не является обязательным, так как каждый вид может существовать отдельно, изолированно, но жизнь в сообществе им обоим приносит пользу.

Среда — часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них прямое или косвенное воздействие.

Стенобионты — экологически маловыносливые виды.

Суккуленты — растения с сочными мясистыми надземными органами, в которых развита водозапасающая ткань. Различают листовые и стеблевые суккуленты.

Сукцессионная серия — последовательный ряд постепенно и закономерно сменяющих друг друга в сукцессии сообществ.

Сукцессия — последовательная смена одного биоценоза другим.

Сукцессия вторичная — восстановление экосистемы, когда-то уже существовавшей на данной территории.

Сукцессия первичная — процесс развития и смена экосистем на незаселенных ранее участках, начинающихся с их колонизации.

Сциофиты — теневые растения, не выносящие сильного освещения, живут в постоянной тени под пологом леса.

Термопериодизм сезонный — потребность растений умеренных широт в чередовании в течение года холодных и теплых периодов.

Техносфера — часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в инженерно-технические сооружения: города, заводы и фабрики, карьеры и шахты, дороги, плотины и водохранилища и т. п.

Толерантность — выносливость вида к воздействию на него тех и) <и иных факторов среды.

Топические связи — характеризуют любое физическое или химическое изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого.

Трофические связи — наблюдаются, когда один вид питается другим — либо живыми особями, либо их мертвыми остатками, либо продуктами их жизнедеятельности.

Трофический уровень — место каждого звена в цепи питания.

Условия жизни (условия существования) — совокупность необходимых для организма элементов среды, с которыми он находится в неразрывном единстве и без которых существовать не может.

Уф — ультрафиолетовая радиация.

Фабрические связи — это такой тип биоценотических отношений, в которые вступает вид, используя для своих сооружений (фабрикации) продукты выделения или мертвые остатки или даже живых особей другого вида.

ФАР — фотосинтетическая активность радиации Солнца.

Фауна — совокупность видов животных, обитающих на определенной территории.

Фитофаги — животные, питающиеся тканями живых растений.

Флора — совокупность видов растений, обитающих на определенной территории.

Форические связи — это участие одного вида в распространении другого.

Фотопериодизм — ритмические изменения морфологических, биохимических и физических свойств и функций организмов под влиянием чередования и длительности освещения.

Хемосинтез — синтез органических веществ у хемоавтотрофных бактерий, использующих в качестве источников энергии окисление некоторых неорганических веществ.

Хищничество — тип взаимоотношения популяций, при котором представители одного вида поедают (уничтожают) представителей другого, т. е. организмы одной популяции служат пищей для организмов другой популяции.

Численность популяции — общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

Чистая первичная продуктивность (ЧПП) — скорость накопления растениями органического вещества за вычетом расхода на дыхание и фотодыхание.

Эврибионты — экологически выносливые виды.

Эдафон — совокупность живого населения почвы.

Эдификаторы — растения, наиболее активно и глубоко преобразующие среду и определяющие условия существования для других сообитателей.

Экологическая катастрофа — природная аномалия (длительная засуха, массовый мор, например, скота и т. д.), зачастую возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности на природные процессы и ведущая к остронеблагоприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона и т. д.

Экологическая ниша — положение вида, которое он занимает в общей системе биоценоза, комплекс его биоценотических связей и требований к абиотическим факторам среды.

Экологическая пластичность — свойство видов адаптироваться к тому или иному диапазону факторов среды.

Экологическая ситуация — локальное или региональное ухудшение окружающей среды, рассматриваемое как общественно неоправданное или опасное.

Экологическая стратегия популяции — это ее общая характеристика роста и размножения.

Экологическая структура биоценоза — это его состав из экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции.

Экологическая экспертиза — система комплексной оценки всех возможных экологических и социально-экономических последствий осуществления проектов, функционирования народнохозяйственных объектов, принятия решений, направленных на предотвращение их отрицательного влияния на окружающую среду и на решение намеченных задач с наименьшей затратой ресурсов и минимальными последствиями.

Экологический кризис — обратимое изменение равновесного состояния природных комплексов.

Экологический прогноз — предсказание изменений в природной среде в результате воздействия на нее хозяйственной деятельности.

Экологическое прогнозирование — предсказание возможного поведения природных систем, определяемого естественными процессами и воздействием на них человека.

Экология — наука, изучающая отношения организмов между собой и с окружающей средой, или наука, изучающая условия существования живых организмов, взаимосвязи со средой, в которой они обитают.

Экосистема — любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами.

Эпифиты — растения, живущие на других растениях (на ветвях, стволах деревьев) без связи с почвой.

Эфемероиды — многолетние травянистые растения, которым, подобно эфемерам, свойствен очень короткий период вегетации.

Эфемеры — однолетние травянистые растения, завершающие полный цикл развития за очень короткий и обычно влажный период.

"Эффект группы" — оптимизация физиологических процессов, ведущая к

повышению жизнеспособности особей при совместном существовании.

Ярусность — вертикальное расслоение биоценозов на разновысокие структурные части.

ЛИТЕРАТУРА

Агроэкологические принципы земледелия (Российская акад. с.-х. наук. Сборник научных трудов под редакцией И.П. Макарова и А.П. Щербакова). — М.: Колос, 1993. — 264 с.

Акимова Т. А., Хаск-ин В. В. Основы экоразвития. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. —

312 с.

Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. М.: ЮНИТИ, 1998. — 415 с.

Акимовский И. И. Мир животных. — М.: Молодая гвардия, 1981. — 238 с.

Алпатъев А. М. Влагодобороты в природе и их преобразованя. — Л.: Гидрометеонздат, 1969. — 269 с.

Ананичев К. В. Проблемы окружающей среды, энергии и природных ресурсов. — М.: Прогресс, 1975. — 168 с.

Анучин В. А. Основы природопользования. Теоретический аспект. — М.: Мысль, 1978. — 293 с.

Анучин Н. П. Лесное хозяйство и охрана природы. — М.: Лесная промышленность, 1979. — 272 с.

Апетенок Г. Л., Кузнецов П. И., Степановских А. С. и др. Система земледелия Курганской области: Рекомендации. — Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1988. — 216 с.

Аполлов Б. А. Учение о реках. — М.: Изд-во МГУ, 1963. — 422 с.

Арманд Д. Нам и внукам. — М.: Мысль, 1966. — 252 с.

Асе М. Я., Шаргаев М. Я. Очерки о филогении и охране животного мира. — Новосибирск: Наука, 1978. — 142 с.

Астанин Л. П., Благодсклов К. Н. Охрана природы. — М.: Колос, 1978. — 239 с.

Аширов А. Ионобменная очистка сточных вод, растворов и газов. — Л.: Химия, 1983. — 295 с.

Банников А. Г., Рустамов А. К., Вакулин А. А. Охрана природы. — М.: Агропромиздат, 1987. — 287 с.

Бауэр Л., Вайничке Х. Забота о ландшафте и охрана природы. — М.: Прогресс, 1971. — 264 с.

Беличенко Ю. П., Швецов М. М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. — М.: Россельхозиздат, 1986. — 312 с.

Белов С. В. и др. Охрана окружающей среды. — М.: Высшая школа, 1991. — 319 с.

Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. — Л.: Химия, 1985. — 528 с.

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. — М.: Мир, 1981. — Т. 1, 2.

Биосфера и ее ресурсы /Сборник статей под ред. В.А. Ковды.— М.: Наука, 1971. — 312 с.

Благодсклов К. Н. Рассказ о Красной книге. — М.: Физкультура и спорт, 1984. — 144 с.

Берляид М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеонздат, 1985. — 272 с.

Бертон П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. — М.: Мир, 1980. — 606 с.

Будыко М. И. Глобальная экология. — М., 1977. — 327 с.

Бухтояров А. П., Васильченко Н. К., Городянская Г. С. и др. Что имеем, как храним: Природные ресурсы Зауралья. — Курган: Зауралье, 1993. — 173 с.

Вайнер (Уинер) Д. Р. Экология в Советской России. — М.: Прогресс, 1991. — 400 с.

Вернадский В. И. Биосфера (Избранные труды по биогеохимии). — М.: Мысль, 1967.

Вернадский В. И. Живое вещество. — М., 1978. — 358 с. **Виноградов Б. В.** Аэрокосмический мониторинг экосистем. — М.: Наука, 1984. — 319 с.

Войткевич Г. В., Вронский В. А. Основы учения о биосфере. - М.: Просвещение, 1989. — 160 с.

Воронцов А. И., Харитонов Н. З. Охрана природы. — М.: Высшая школа, 1977. — 408 с.

Воронцов Н. Н. Теория эволюции: истоки, постулаты и проблемы (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 7) — М.: Знание, 1984. — 64 с.

Вронский В. А. Прикладная экология. — Ростов-н-Д: Феникс, 1996. — 512 с.

Второв П. П., Второва В. Н. Эталоны природы. — М.: Мысль, 1983. — 203 с.

Галазний И. И. Байкал в вопросах и ответах. — Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1984. — 365 с.

Генсирук С. А. Рациональное природопользование. — М.: Лесная промышленность, 1979. — 312 с.

Гиляров М. С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. — М. — Л., 1949. — 278 с.

Гиляров М. С., Криволицкий Д. А. Жизнь в почве. — М.: Молодая гвардия, 1985. — 192 с.

Глухов В. В. и др. Экономические основы экологии. — СПб: Специальная литература, 1995. — 280 с.

Горелик Д. О., Конопелько Л. А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источники выбросов. — М.: Изд-во Стандартов, 1992. — 433 с.

Город, природа, человек: проблемы экологического воспитания /Под ред. академика А. В. Сидоренко. — М.: Мысль, 1982. — 231 с.

Горышина Т. К. Экология растений. — М.: Высшая школа, 1979. — 368 с.

Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды// Итоги науки и техники (ВИНИТИ). Сер. «Теоретические и общие вопросы географии». — М., 1990. Т. 7. — 338 с.

Грант В. Эволюция организмов. — М.: Мир, 1980. — 407 с.

Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. — М.: Мир, 1993. Т. 1—3.

Гюнтер Э. и др. Основы общей биологии. — М.: Мир, 1982. — 440 с. **Дажо Р.** Основы экологии. — М.: Прогресс, 1975. — 415 с.

Данилов А. Д., Кароль И. Л. Атмосферный озон — сенсации и реальность. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 120 с.

Двораковский М. С. Экология растений. — М.: Высшая школа, 1983. **Дрё Ф.** Экология. — М., 1976. — 168 с.

Дежкин В. В. Охота и охрана природы. — М.: Физкультура и спорт, 1977. — 101 с.

Дерпгольц В. Ф. Мир воды. — Л.: Недра, 1979. — 169 с.

Добровольский Г. В., Гришина Л. А. Охрана почв. — М.: Изд-во МГУ, 1985. — 224 с.

Дорст Ж. До того как умрет природа. — М.: Прогресс, 1968. — 415 с.

Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. — М.: Прогресс, 1975.

Ефимов Ю. К. Природа моей страны. — М.: Мысль, 1985. — 350 с.

Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. — М.: Стройиздат, 1977. — 208 с.

Журавлев В. П. и др. Охрана окружающей среды в строительстве. — М.: Изд-во АСВ, 1995. — 328 с.

Заповедники СССР: Справочник/ Под ред. А. М. Бородина. — М.: Лесная промышленность, 1983. — 248 с.

Зарубаев Н. В. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — Л.: Стройиздат, 1976. — 223 с.

Здоровье и окружающая среда/Под ред. Дж. Ленихена и У. Флетчера. — М.: Мир, 1979. — 232 с.

Земельные ресурсы мира, их использование и охрана/Под ред. В. А. Ков-ды. — М.: Наука, 1978. — 287 с.

Зуев В. Л. Аральский тупик. — М.: Прометей, 1991. — 110 с.

Иваненко Н. С. Охрана природы. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 200 с.

Иванов В. Г. Конфликт ценностей и решение проблем экологии (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 8)— М.: Знание, 1991. — 64 с.

Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 375 с.

Иноземцев А.А., Щербаков Ю.А. Использование и охрана ландшафтов. — М.:

Росагропромиздат, 1988. — 158 с.

Иоганзен Б. Г. Основы экологии. — Томск, 1959. — 390 с.

Казначеев В. П., Яншина Ф. Т. Учение В. И. Вернадского о преобразовании биосферы и экологии человека (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Науки о Земле», № 3). — М.: Знание, 1986. — 48 с.

Кашкаров Д. Н. Основы экологии животных. — Л., 1945. — 383 с.

Кнрюшин В. И. Экологические основы земледелия. — М.: Колос, 1996. — 367 с.

Кобозев И. В., Тюльдюков В. А., Парахин Н. В. Предотвращение критических ситуаций в агроэкосистемах. — М.: Изд-во МСХА, 1995. — 264 с.

Ковда В. А., Керженцев А. С. Экологический мониторинг: концепция, принципы организации/Региональный экологический мониторинг. — М.: Наука, 1983. — С. 7—14.

Когаиовский А. М. и др. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. — М.: Химия, 1983. — 288 с.

Кольцов А. С. Сельскохозяйственная экология. — Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 1995. — 275 с.

Комар И. В. Рациональное использование природных ресурсов и ресурсные циклы. — М.: Наука, 1975. — 512 с.

Коммонер Б. Замыкающий круг. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 272 с. **Красная книга РСФСР (животные).** — М.: Россельхозиздат, 1983. — 454 с.

Красилов В. А. Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты. — М., 1992. — 174 с.

Краснитский А. М. Проблемы заповедного дела. — М.: Лесная промышленность, 1983. — 190 с.

Криволуцкий Д. А., Покаржевский А. Д. Животные в биогенном круговороте веществ (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 3). — М.: Знание, 1986. — 64 с.

Криксунов Е. А., Пасечник В. В., Сидорин А. П. Экология. — М.: Дрофа, 1995. — 240 с.

Крючков В. В. Север: природа и человек. — М.: Наука, 1979. — 128 с.

Куражковский Ю. Н. Очерки природопользования. — М.: Мысль, 1969. — 272 с.

Куракова Л. И. Современные ландшафты и хозяйственная деятельность. — М.: Просвещение, 1983. — 160 с.

Куценко А. М., Писаренко В. Н. Охрана окружающей среды в сельском хозяйстве. — Киев: Урожай, 1991. — 200 с.

Ландсберг Г. Е. Климат города. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 248 с.

Лаптев И. П. Теоретические основы охраны природы. — Томск: Изд-во Томского университета, 1975. — 278 с.

Лаптев И. П. Сельское хозяйство и охрана природы. — М.: Колос, 1982. — 214 с.

Лархер В. Экология растений. — М.: Мир, 1978. — 384 с.

Ласкорин Б. Н. и др. Безотходные технологии в промышленности. — М.: Стройиздат, 1986. — 160 с.

Лацко Р. Экономические проблемы охраны окружающей среды. — М.: Прогресс, 1979. — 216 с.

Лемешев М. Я. Природа и мы. — М.: Советская Россия, 1989. — 272 с.

Ливчак И. Ф., Воронов Ю. В., Стрелков Е. В. Охрана окружающей среды. — М.: Колос, 1995. — 265 с.

Львов И. А. Дикая природа: грани управления. — М.: Мысль, 1984. — 192 с.

Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974. — 446 с.

Лукашев В. К., Лукашев К. И. Научные основы охраны окружающей среды. — Минск: Вышэйшая школа, 1980. — 256 с.

Мамедов Н. М., Суравегина И. Т. Экология. — М.: Школа — Пресс, 1996. — 464 с.

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс И. За пределами роста. — М.: Прогресс — Пангея, 1994. — 304 с.

Мельников Н. Н., Волков А. И., Короткова О. А. Пестициды и окружающая среда. — М.:

Химия, 1977. — 240 с.

Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Географические аспекты охраны природы. — М.: Мысль, 1979. — 295 с.

Миллер Т. Спешите спасти планету. — М.: Прогресс—Пангея, 1994. — ч. II. — 336 с.

Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. — М.: Агро-промиздат, 1990. — 287 с.

Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Агрохимия, биология и экология почвы. — М.: Росагропромиздат, 1990. — 206 с.

Митрюшкин К. П., Павловский Е. С. Лес и поле. — М.: Колос, 1979. — 279 с.

Митрюшкин К. П., Шапошников Л. К. Прогресс и природа. — М.:

Лесная промышленность, 1978. — 312 с.

Моисеев Н. Н. Современный антропогенез и цивилизованные разломы: Эколого-политологический анализ // Зеленый мир, 1994, N 12. — С. 5—11.

Моложников В. Н. Растительные сообщества Прибайкалья. — Новосибирск: СО Наука, 1986. — 272 с.

Монин А. С., Шишков Ю. А. Глобальные экологические проблемы (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Науки о Земле», № 7). — М.: Знание, 1990. — 48 с.

Мосинец В. Н., Грязнов М. В. Горные работы и окружающая среда. — М.: Недра, 1978. — 192 с.

Наумов Н. П. Экология животных. — М., 1963. — 618 с.

Небел Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир. — М.: Мир, 1993. — Т. I. — 424 с., Т. II. — 336 с.

Нейл У. География жизни. — М.: Прогресс, 1973. — 340 с.

Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря. — М.: Прогресс, 1977. — 298 с.

Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек. — М.:

Высшая школа, 1980. — 424 с.

Никитин Д. П., Новиков Ю. В., Зарубин Г. П. Научно-технический прогресс, природа и человек. — М.: Наука, 1977. — 200 с.

Николаевский А. Г. Национальные парки. — М.: Агропромиздат, 1985. — 189 с.

Николаенко В. Т. Лес и защита водоемов от загрязнения. — М.: Лесная промышленность, 1980. — 264 с.

Новиков Г. В., Дударев А. Я. Санитарная охрана окружающей среды современного города. — Л.: Медицина, 1978. — 215 с.

Новиков Г. А. Основы общей экологии и охраны природы. — Л., 1979. — 352 с.

Новрузов З. Н. Природа не прощает ошибок. М.: Мысль, 1988. — 127 с.

Общество и природная среда. Сборник. — М.: Знание, 1980. — 240 с.

Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. I. — 328 с., Т. II. — 376 с.

Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов. — М.: Колос, 1977. — 416 с.

Охрана земельных ресурсов СССР (составители С. И. Носов, Т. П. Федосеева, А. Н. Бошляков и др.) — М.: Агропромиздат, 1986. — 184 с.

Охрана растительного мира Сибири. Сборник. — Новосибирск: СО Наука, 1981. — 224 с.

Очкин А. В., Фадеев Г. Н. Химия защищает природу. — М.: Просвещение, 1984. — 160 с.

Перельман А. И. Геохимия биосферы. — М.: Наука, 1973. — 168 с.

Перельман А. И. Биокосные системы земли. — М.: Наука, 1977. — 160 с.

Петров К. М. Общая экология: взаимодействие общества и природы. — СПб: Химия, 1997. — 352 с.

Пономарева И. Н. Общая экология. — Л., 1975. — 162 с.

Пономарева И. Н. Экология растений с основами биогеоценологии. — М.: Просвещение, 1978. — 207 с.

Потемкин Л. А. Охрана недр и окружающей среды. — М.: Недра, 1977. — 206 с.

Пресман А. С. Идеи В. И. Вернадского в современной биологии (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 9). — М.: Знание, 1976. — 64 с.

Природа и мы: Сборник (Сост. А. П. Моисеев, М. Е. Николаева). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1978. — 172 с.

Природа и мы: Сборник (Сост. А. П. Моисеев, М. Е. Новикова). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1980. — 184 с.

Природа и мы: Сборник (Сост. А. П. Моисеев, М. Е. Новикова). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1981. — 176 с.

Природа и мы: Сборник (Сост. М. Е. Николаева, А. П. Моисеев). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1984. — 164 с.

Природа и мы: Сборник (Сост. М. Е. Николаева, А. П. Моисеев). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1986. — 184 с.

Природа и мы: Памятники природы Челябинской области: Сборник (Сост. А. П. Моисеев, М. Е. Николаева). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1987. — 256 с.

Природа и мы: Сбереечь обязаны. Редкие, исчезающие животные и растения, памятники природы и заказники Курганской области: Сборник (Сост. В. П. Стариков, К. П. Федотова). — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1989. — 208 с.

Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем /Под ред. Израэля. — Л.: Гидрометиздат, 1975—1989. — Т. 1—9.

Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России. — М.: Финансы и статистика, 1995. — 528 с.

Пысин К. Г. О памятниках природы России. — М.: Советская Россия, 1982. — 176 с.

Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Кн. 1. Народо-население и пищевые ресурсы. — М.: Мир, 1994. — 340 с.

Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Кн. 2. Загрязнение воды и воздуха. — М.: Мир, 1995. — 296 с.

Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Кн. 3. Энергетические проблемы человечества. — М.: Мир, 1995. — 291 с.

Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах. Кн. 4. Здоровье и среда, в которой мы живем. — М.: Мир, 1995. — 191 с.

Редкие животные нашей страны (С. Н. Баккал, А. В. Бардин, И. С. Даревский и др.). — Л.: Наука, 1989. — 311 с.

Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р. Особо охраняемые природные территории. — М.: Мысль, 1978. — 294 с.

Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.

Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994. — 367 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии. — М.: Мир, 1979. — 424 с.

Риффо К. Будущее — океан. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 272 с.

Родионов А. И. и др. Техника защиты окружающей среды. — М.: Химия, 1989. — 512 с.

Русанов Я. С. Охота и охрана фауны. — М.: Лесная промышленность, 1973. — 143 с.

Самсонов С. К. Невидимые земледельцы. — М.: Мысль, 1987. — 172 с.

Скялкнн Ф. В. и др. Энергетика и окружающая среда. — Л.: Энергоиздат, 1981. — 280 с.

Соболевская К. А. Исчезающие растения Сибири в интродукции. — Новосибирск: Наука, 1984. — 222 с.

Соколов М.С., Монастырский О.А., Пикушова Э.А. Экологизация защиты растений. — М.: Пушине, 1994. — 462 с.

Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. — СПб: Химия, 1996. — 240 с.

Стариков В. П. Редкие и исчезающие виды животных Курганской области. — Курган: Парус-М, 1995. — 56 с.

Степановских А. С. Рациональное использование и охрана земель. — Омск: ОмСХИ,

1980. — 20 с.

Степановских А. С. и др. Интегрированная защита сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней при интенсивной технологии возделывания в Зауралье. — Омск: ОмСХИ, 1988. — 68 с.

Степановских А. С. Общая экология. — Курган: ИПП «Зауралье», 1996. — 464 с.

Степановских А. С. Экология. — Курган: ГИПП Зауралье, 1997. — 616 с.

Степановских А. С. Охрана окружающей среды. — Курган: ГИПП Зауралье, 1998. — 512 с.

Сукачев В. Н. Основы лесной биogeоценологии. — М.: Наука, 1964.

Сукачев В. Н. Избранные труды. — М.: Наука, 1972.

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. — М.: Колос, 1971. — 456 с.

Тышкевич Г. Л. Экология и агрономия. — Кишинев: Штиинца, 1991. — 228 с.

Уатт К. Экология и управление ресурсами. — М.: Мир, 1971. — 463 с.

Уоллворк К. Нарушенные земли. — М.: Прогресс, 1979. — 269 с.

Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль. — М.: Мир, 1980. — 640 с.

Уразаев Н. А., Вакулнн А. А., Марымов В. И. и др. Сельскохозяйственная экология. — М.: Колос, 1996. — 255 с.

Фарб П. Популярная экология. — М.: Мысль, 1971. — 192 с.

Фишер Д., Саймон Н., Умсент Д. Красная книга. — М.: Прогресс, 1976. — 477 с.

Хайниш Э., Паукке Х. и др. Агрохимикаты в окружающей среде. — М.: Колос, 1979. — 357 с.

Хржановский В. Г. и др. Ботаническая география с основами **экологии растений**. — М.: Колос, 1994. — 240 с.

Черкинский С. Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. — М.: Стройиздат, 1972. — 223 с.

Черников В. А. и др. Агроэкология. — М.: Колос, 2000. — 536 с.

Чернова Н. М., Былова А. М. Экология. — М.: Просвещение, 1988. — 272 с.

Чулкина В. А. Биологические основы эпифитотииологии. — М.: Агропромииздат, 1991. — 287 с.

Шебалин А. Ф.оборотное водоснабжение промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1972. — 296 с.

Шалыбков А. М., Сторчевой К. В. Природные заказники. — М.: Агропромииздат, 1985. — 207 с.

Шарсон Р. Природа предъявляет счет. — М.: Прогресс, 1969. — 567 с.

Шишкин А. И., Дружинин Н. И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 390 с.

Шовен Р. Мир насекомых. — М.: Мир, 1970. — 240 с.

Экхольм Э. Окружающая среда и здоровье человека. — М.: Прогресс, 1980. — 234 с.

Эльтерман В. М. Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях. — М.: Химия, 1985. — 160 с.

Эиос А. Р., Бейли С. Э. Р. Биология окружающей среды. Проблемы и решения. — М.: Колос, 1997. — 184 с.

Яблоков А. В., Остроумов С. А. Охрана живой природы: проблемы и перспективы. — М.: Лесная промышленность, 1983. — 307 с.

Яблоков А. В., Юсуфов А. Г. Эволюционное учение. — М.: Высшая школа, 1998. — 336 с.

Яншин А. Л., Мелуа А. И. Хроника экологических просчетов. — М.: Мысль, 1990. — 430 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1. ВВЕДЕНИЕ. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ.....	5
1.1. Краткая история экологии.....	5
1.2. Содержание, предмет и задачи экологии	16
1.3. Взаимосвязь экологии с другими биологическими науками. Подразделения экологии	18
1.4. Методы экологических исследований	21
2. БИОСФЕРА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СТРУКТУРА. ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО	24
2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ.....	25
2.2. ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО БИОСФЕРЫ.....	30

3. ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМЫ.....	38
3.1. СРЕДА И УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗМОВ	38
3.2. СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	43
4. ВАЖНЕЙШИЕ АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ	47
4.1. ИЗЛУЧЕНИЕ: СВЕТ	47
4.2. ТЕМПЕРАТУРА	57
4.3. ВЛАЖНОСТЬ	72
4.4. СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ	83
4.5. АТМОСФЕРА	86
4.6. ТОПОГРАФИЯ.....	88
4.7. ПРОЧИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ	91
5. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ.....	102
5.1. ВОДНАЯ СРЕДА ЖИЗНИ.....	103
5.2. НАЗЕМНО-ВОЗДУШНАЯ СРЕДА ЖИЗНИ.....	126
5.3. ПОЧВА КАК СРЕДА ЖИЗНИ.....	152
5.4. ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ КАК СРЕДА ЖИЗНИ	171
6. БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ	184
6.1. ГОМОТИПИЧЕСКИЕ И.....	184
ГЕТЕРОТИПИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ.....	184
6.2. ЗООГЕННЫЕ ФАКТОРЫ.....	186
6.3. ФИТОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ.....	195
6.4. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ.....	205
7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ.....	208
7.1. ВНЕШНИЕ РИТМЫ	209
7.2. ВНУТРЕННИЕ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ, РИТМЫ	210
7.3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ	218
7.4. ФОТОПЕРИОДИЗМ.....	220
8. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗМОВ	225
8.1. ПОНЯТИЕ «ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА» ОРГАНИЗМА.....	225
8.2. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ РАСТЕНИЙ	227
8.3. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ЖИВОТНЫХ	234
9. СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИЙ.....	240
9.1. ПОНЯТИЕ О ПОПУЛЯЦИИ	240
9.2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ	241
9.3. ЧИСЛЕННОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ.....	243
9.4. РОЖДАЕМОСТЬ И СМЕРТНОСТЬ	245
9.5. ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ	247
9.6. ПОЛОВОЙ СОСТАВ ПОПУЛЯЦИИ.....	253
9.7. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ	254
9.8. РОСТ ПОПУЛЯЦИЙ И КРИВЫЕ РОСТА	258
10. ВНУТРИВИДОВЫЕ И МЕЖВИДОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ, ГОМЕОСТАЗ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ.....	261
10.1. ВНУТРИВИДОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ	261
10.2. МЕЖВИДОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ	276
10.3. КОЛЕБАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И ГОМЕОСТАЗ ПОПУЛЯЦИЙ	278
10.4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ ПОПУЛЯЦИЙ	283
11. БИОЦЕНОЗЫ	284

11.1. Понятие о биоценозе	284
11.2. Видовая структура биоценоза	287
11.3. Пространственная структура биоценоза	291
11.4. Отношения организмов в биоценозах	296
11.5. Экологические ниши	300
11.6. Экологическая структура биоценоза	306
11.7. Пограничный эффект	308
12. ЭКОСИСТЕМЫ.....	311
12.1. Понятие об экосистемах	311
12.2. Классификация экосистем	312
12.3. Зональность макроэкосистем	313
12.4. Структура экосистем	318
12.5. Солнце как источник энергии	321
12.6. Кругообороты веществ	323
12.7. Поток энергии в экосистемах	343
12.8. Продуктивность экосистем	358
12.9. Динамика экосистем	362
12.10. Биосфера как глобальная экосистема	372
12.11. Деятельность человека и эволюция биосферы	377
12.12. Развитие биосферы в ноосферу — сферу разума	386
13. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДУ	391
13.1. Понятие природы, природных ресурсов	391
13.2. Рост народонаселения	393
13.3. Антропогенный материальный баланс	395
13.4. Антропогенные воздействия на потоки энергии и круговороты веществ	402
13.5. Классификация антропогенных воздействий	412
13.6. Экологические кризисы и экологические катастрофы	415
13.7. Понятие загрязнения окружающей среды. Виды загрязнителей	418
13.8. Основные источники загрязнения окружающей среды	420
13.9. Техногенные аварии и природные катастрофы	428
13.10. Экологическая ситуация	431
14. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ.....	436
14.1. Структура и состав атмосферы	436
14.2. Источники и состав загрязнения атмосферного воздуха	440
14.3. Физические и экологические последствия загрязнения атмосферы	442
14.4. Меры по предотвращению загрязнений атмосферного воздуха	449
15. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОСФЕРУ.....	453
15.1. Основные сведения о гидросфере	453
15.2. Роль воды в природе и жизни человека	456
15.3. Запасы пресной воды	459
15.4. Использование водных ресурсов	460
15.5. Источники загрязнения воды	462
15.6. Меры по очистке и охране вод	468
16. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ.....	475
16.1. Значение растений в природе и жизни человека	475
16.2. Воздействие человека на растительность	480
16.3. Лес — важнейший растительный ресурс	481
16.4. Лес и деятельность человека	485
16.5. Лес и туризм	488
16.6. Меры по охране растительности	489
16.7. Охрана хозяйственно-ценных и редких видов растений	491

17. АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИВОТНЫХ	493
17.1. Значение животных в биосфере и жизни человека	493
17.2. Воздействия человека на животных, причины их вымирания	498
17.3. Меры по охране животных	503
18. ВОЗДЕЙСТВИЕ	
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДУ	512
18.1. Сельское хозяйство как источник продовольственных ресурсов	512
18.2. Влияние сельскохозяйственной деятельности человека на экологическое равновесие в природе	516
18.3. Энергопотребление, функционирование и биопродуктивность агроэкосистем	519
18.4. Отношения организмов в агроэкосистемах	527
18.5. Ландшафтная организация агроэкосистем	530
18.6. Роль отдельных компонентов в агроэкосистемах	535
18.7. Экологические аспекты интенсификации земледелия	544
18.8. Проблема охраны земельных ресурсов	559
18.9. Альтернативное земледелие	565
18.10. Рекультивация земель	568
18.11. Естественные луга и пастбища в агроэкосистемах	570
19. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ	577
19.1. Среда жизни человека	577
19.2. Потребности человека	579
19.3. Понятие «здоровье человека»	583
19.4. Влияние состояния окружающей среды на здоровье людей	586
19.5. Экологический риск	592
20. ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	595
20.1. Законы взаимоотношений человек—природа	595
20.2. Пути решения экологических проблем	600
20.3. Международное сотрудничество	615
20.4. Экологическое воспитание и просвещение	618
21. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	620
21.1. Экологический прогноз и прогнозирование	620
21.2. Моделирование природных процессов в решении экологических проблем	624
21.3. Экологический мониторинг	629
21.4. Оценка качества окружающей среды	632
21.5. Нормирование загрязняющих веществ в окружающей среде	636
21.6. Экологическая аттестация и паспортизация	638
21.7. Экологическая экспертиза	640
ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ	643
ЛИТЕРАТУРА	655

Степановских Анатолий Сергеевич

ЭКОЛОГИЯ

Оригинал-макет изготовлен в
"ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ЮНИТИ-ДАНА"
Художник *А.В. Лебедев*

Лицензия ИД № 03562 от 19.12.2000
Подписано в печать 15.05.2001. Формат 84х108 1/32
Усл. печ. л. 37. Уч.-изд. л. 27
Тираж 30 000 экз. (1-й завод - 5 000). Заказ 1099

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА»
Генеральный директор *В.Н. Закаидзе*

123298, Москва, ул. Ирины Левченко, 1-9
Тел. (095) 194-00-15. Тел/факс (095) 194-00-14
www.unity-dana.ru E-mail: unity@tech.ru

Отпечатано во ФГУП ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14